

**Análisis de metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas  
a cuencas de alta montaña en Colombia**

**Elizabeth Vera Camacho  
Maira Lizeth Valderrama Corredor**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de:  
Ingeniería Ambiental**

**Línea de Investigación:  
Gestión y manejo ambiental**

**Director:  
Jessica Paola Páez Pedraza**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Bogotá, Colombia  
2020**

## **Agradecimientos**

*Agradezco principalmente a Dios, sin él nada de esto sería posible, a mi madre, esposo e hijos quienes son mi motor y mi fuerza para ser cada día mejor; agradezco su apoyo y paciencia no solo a lo largo de la construcción de este trabajo, si no de mi carrera profesional.*

*A nuestra directora de trabajo de grado Jessica P. Páez; por su apoyo, dedicación y consejos para hacer posible la culminación de este trabajo de grado y a mi compañera por su colaboración y trabajo en equipo.*

***Elizabeth Vera C.***

*Agradezco a ese ser superior que me permitió vivir esta vida, por el conocimiento adquirido durante esta etapa de formación como ingeniera ambiental, espero sea mi instrumento de servicio para generar cambio en la sociedad y aportar al desarrollo sostenible de mi país, quiero que mi madre y mi hermana se sientan orgullosas, ellas son mi bastón y sin ellas este trabajo no hubiera sido posible.*

*A Elizabeth por regalarme su tiempo, paciencia y comprensión sin su persistencia no hubiera logra este lindo resultado.*

*A la tutora Jessica por regalarme su conocimiento y permitirme formar parte de este proyecto con tan grande propósito.*

***Maira Valderrama C.***

## Resumen

La intención de esta monografía es analizar las metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia. En primer lugar, se presentan las diferentes definiciones de avenida torrencial, así como la denominación con la cual se conocen en diferentes países, se describen los mecanismos detonantes y como se manifiestan el comportamiento de este fenómeno de acuerdo con los tipos de flujos y las características morfológicas, geológicas y geomorfológicas relevantes de las cuencas.

Por otra parte, se investigaron varios estudios y documentos aplicados en diferentes municipios y cuencas hidrográficas colombianas, en las cuales se identificaron similitudes y diferencias en las metodologías utilizadas para la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad, susceptibilidad y riesgo ante avenidas torrenciales, con los cuales se desarrollaron diagramas en los cuales se presentan los diferentes pasos a seguir en cada una de las metodologías revisadas. Esta investigación contribuirá en la construcción de una guía metodológica que permita identificar las cuencas hidrográficas más susceptibles y con mayor amenaza por este fenómeno.

**Palabras claves:** *avenidas torrenciales, mecanismos detonantes, geomorfología, concentración de sedimentos.*

## **Abstract**

The intention of this monograph is to analyze the methodologies for the risk assessment of torrential avenues applied to high mountain basins in Colombia. First, the different torrential avenue variables are presented, as well as the denomination with which they are found in different countries, the detonating mechanisms are described and how the behavior of this phenomenon is manifested according to the types of flows and characteristics relevant morphological, geological and geomorphological basins.

On the other hand, investigate several studies and documents applied in different municipalities and Colombian river basins, in which similarities and differences are identified in the modified methodologies for the evaluation of the threat, vulnerability, susceptibility and risk to torrential avenues, with which they developed diagrams in which the different steps to be followed in each of the reviewed methodologies are presented. This research will contribute to the construction of a methodological guide to identify the most susceptible hydrographic basins with the greatest threat to this phenomenon.

**Keywords:** *torrential avenues, trigger mechanisms, geomorphology and sediment concentration.*

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	II
Resumen .....	III
Abstract.....	IV
Índice de figuras .....	VII
Índice de tablas .....	VIII
1. Introducción .....	1
2. Planteamiento del problema.....	2
3. Justificación.....	3
4. Objetivos. ....	4
4.1. Objetivo general.....	4
4.2. Objetivos específicos .....	4
5. Marco teórico. ....	5
5.1. Avenidas torrenciales.....	5
5.2. Mecanismos detonantes de avenidas torrenciales.....	6
5.2.1. Precipitaciones intensas .....	2
5.2.2. Sismos.....	2
5.2.3. Erupciones volcánicas .....	3
5.2.4. Represamiento de cauces.....	4
5.2.5. Actividades antrópicas.....	4
5.3. Flujos torrenciales.....	5
5.3.1. Fluidos Newtonianos .....	7
5.3.2. Fluidos No Newtonianos .....	7
5.3.3. Flujo hiperconcentrado .....	7
5.3.4. Flujo de lodo .....	8
5.3.5. Flujo de residuos o detritos.....	8
5.4. Geomorfología fluvial.....	9
5.4.1. Tipos de cuencas .....	9
5.4.2. Cuenca hidrográfica.....	10
5.4.3. Partes de una cuenca hidrográfica .....	10
5.4.4. Clasificación de las corrientes en una cuenca hídrica .....	11
5.5. Parámetros morfométricos de las cuencas y su influencia en la generación de avenidas torrenciales.....	11

5.5.1.	Parámetros físicos y del relieve .....	12
5.5.2.	Parámetros relacionados con la forma.....	14
5.5.3.	Parámetros relativos a la red de drenaje .....	16
5.5.4.	Parámetros de drenaje y morfología del cauce principal.....	17
5.7	Características de una cuenca torrencial .....	20
5.6.	Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) .....	20
5.7.	Análisis del riesgo.....	25
5.7.1.	Amenaza .....	26
5.7.2.	Vulnerabilidad .....	26
6.	Análisis de metodologías de evaluación del riesgo aplicadas en Colombia .....	27
	Metodologías usadas por los POMCA.....	28
6.1.	.....	28
6.1.1.	POMCA Río Bogotá.....	30
6.2.	Estudios de riesgo de municipios y otros estudios independientes.....	36
6.3.	Estudio de riesgo: Amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá, 2017 .....	39
6.3.1.	Área de estudio. ....	40
6.3.2.	Evaluación de la amenaza.....	40
6.3.3.	Análisis de la amenaza .....	41
6.4.	Estudio de riesgo: Análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en el Valle de Aburra, 2009. ....	43
6.5.	Estudio de riesgo: Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales, municipio de San Rafael, Antioquia, 2012 .....	47
6.6.	Artículo científico: Estudio de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la Quebrada Doña María, 2009 .....	52
7.	Comparación de metodologías aplicadas en Colombia.....	56
8.	Conclusiones .....	58
9.	Recomendaciones.....	59
10.	Bibliografía.....	60

## Índice de figuras

Figura 1 Partes básicas de un flujo - vista transversal.....	6
Figura 2 Partes básicas de un flujo - vista superior .....	6
Figura 3 Clasificación de flujos de acuerdo con la velocidad y concentración de sedimentos....	6
Figura 4 Tipos de flujos de acuerdo con las características de la mezcla y la cuenca. ....	7
Figura 5 Formación de un flujo en una ladera de alta pendiente.....	9
Figura 6 Partes de una cuenca hidrográfica.....	11
Figura 7 Ordenación de una red de canales según Strahler. ....	16
Figura 8 Patrones de drenaje .....	19
Figura 9 Delimitación de áreas amenazadas por eventos de origen torrencial.....	21
Figura 10 Metodología para evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicada en los POMCAS.....	35
Figura 11 Metodología para evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicada en los POMCAS.....	36
Figura 12 Diagrama metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá .....	42
Figura 13 Avenidas torrenciales municipio de San Rafael, Antioquia .....	51
Figura 14 Evaluación cualitativa Quebrada Doña María .....	55

### Índice de tablas

Tabla 1 Características morfométricas y climáticas de las avenidas torrenciales. ....	5
Tabla 2 Nombre de avenidas torrenciales en otros países. ....	6
Tabla 3 Tipo de áreas de drenaje .....	12
Tabla 4 Clasificación de las cuencas hidrográficas según las pendientes. ....	13
Tabla 5 Descripción por rangos índice de compacidad. ....	14
Tabla 6 Descripción por rangos del factor de forma. ....	15
Tabla 7 Relaciones para categorizar el índice morfométrico. ....	23
Tabla 8 Relaciones entre variables para el índice morfométrico. ....	24
Tabla 9 Clasificación del índice de variabilidad .....	25
Tabla 10 Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET). ....	25
Tabla 11 Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS. ....	29
Tabla 12 Matriz categorización riesgo. ....	30
Tabla 13 POMCAS revisados y generalidades de las metodologías aplicadas en estos .....	32
Tabla 14 Generalidades de las metodologías utilizadas en estudios de riesgo e investigaciones revisadas. ....	37
Tabla 15 Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. ....	41
Tabla 16 Avenidas torrenciales en el Valle de Aburra .....	46
Tabla 17 Clasificación morfométrica - cuencas torrenciales. ....	47
Tabla 18 Reclasificación de unidades geomorfológicas. ....	48
Tabla 19 Lista de mapas temáticos. ....	48
Tabla 20 Clasificación de precipitación. ....	49
Tabla 21 Clasificación de coberturas. ....	49
Tabla 22 Clasificación de materiales superficiales. ....	49
Tabla 23 Ponderación factores de susceptibilidad por avenidas torrenciales. ....	50
Tabla 24 Índice de amenaza por avenida torrencial. ....	50
Tabla 25 Escala de valoración de pesos relativos. ....	52
Tabla 26 Comparación de metodologías aplicadas en Colombia. ....	57



## **1. Introducción**

Las avenidas torrenciales son producto de condiciones geomorfológicas y eventos de precipitación que causan aumentos rápidos del nivel de agua de ríos y quebradas de alta montaña, acompañados de sedimentos y escombros; los asentamientos de la población cerca a estas cuencas ocasionan que al presentarse un desastre de esta magnitud se genere pérdida de vidas humana, heridos, desaparecidos, damnificados, desplazados, daños en la infraestructura, daños servicios públicos, pérdida de fauna y flora.

Este tipo de desastre representa un gran impacto, social y económico, y se constituyen como una amenaza natural impredecible, su ocurrencia es más habitual de lo que se piensa y es muy poco estudiada en Colombia. Diferentes entidades gubernamentales y estudios científicos pretenden determinar una metodología que ayude a identificar factores relevantes como ubicación geográfica, geomorfología fluvial, parámetros morfométricos de las cuencas y su influencia en la generación de avenidas torrenciales, así como el efecto de la variabilidad climática y cambios de cobertura de las cuencas de alta montaña. Lo anterior, para delimitar y zonificar áreas de amenaza potenciales, consiguiendo establecer medidas de intervención y/o restricciones del uso y ocupación del territorio. Sin embargo, no existe una metodología clara o una guía gubernamental que oriente la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales.

Al examinar las diferentes metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia, se pretende construir una guía metodológica actualizada, dando respuesta al objetivo del grupo de semillero de investigación Ecohidrología, realizando un reconocimiento de los conceptos relevantes para la comprensión de este fenómeno que se involucran durante su ocurrencia, las principales características morfológicas pertinentes para la evaluación y encontrar las similitudes y diferencias de estudios estudiados.

## 2. Planteamiento del problema

Colombia cuenta con una extensa red hidrográfica gracias a la variedad de geoformas del suelo, la falta de estudios y el desconocimiento de los límites divisores de las cuencas hídricas, abren una gran brecha para que las comunidades se asienten en zonas de relieve con amenaza a las avenidas torrenciales, remociones en masa o inundaciones y aumenten la probabilidad de pérdidas como vidas humanas, viviendas, carreteras, espacio público, cultivos, entre otros.

Según INGEOMINAS “Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia” (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009). Los flujos de detritos conocidos comúnmente como “avalanchas” son de gran potencial destructivo, su naturaleza es casi impredecible por la rapidez con la que ocurren lo que implica un gran inconveniente para predecirlas y prevenir los daños que estas puedan ocasionar.

Algunos ejemplos del poder destructivo de este fenómeno son: la tragedia de Armero en 1985, la cual dejó más de 25.000 víctimas mortales y la completa destrucción del casco urbano del municipio. (Noticias Caracol, 2015) Afirma “*A 300km/h por el cañón del Lagunilla, el río que baña a Armero, una avalancha de barro de 40 metros de altura, el equivalente a un edificio de 12 pisos se vertió sobre el valle*”. Otro caso más reciente es la tragedia ocurrida en Mocoa, Putumayo durante la noche del 31 de marzo y la madrugada del 1 de abril de 2017, donde una avalancha generada por los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco, provocó la muerte de más de 333 personas, 398 heridos, 71 desaparecidos y miles de damnificados (Semana, 2018; UNGRD, 2019)

La inestabilidad del suelo de las montañas y la sinergia producida entre la erosión o la deforestación y alto relieve de los piedemontes colombianos, aumentan la susceptibilidad y amenaza ante este fenómeno, sumado la vulnerabilidad de las poblaciones que se asientan en abanicos aluviales y rondas de los ríos. Por lo cual, la principal herramienta para mitigar las pérdidas es evaluar e identificar las zonas que se encuentran en riesgo, sin embargo, en Colombia no existe una metodología clara que permita realizar esta evaluación.

### **3. Justificación**

Las avenidas torrenciales se identifican como una amenaza socio natural importante en nuestro país, debido a la morfología escarpada y compleja de una cantidad importante de cuencas hidrográficas. Este es un fenómeno poco estudiado, por lo cual se justifica revisar las metodologías ya aplicadas en Colombia para identificar los aspectos más importantes en la determinación de las zonas en riesgo y así contribuir en la implementación de estrategias ante estos eventos, que favorezcan en el adecuado ordenamiento territorial.

En diferentes municipios entre 1998 a 2018, se han presentado aproximadamente 406 eventos de avenidas torrenciales, dejando como resultado múltiples afectaciones a las poblaciones cerca de las cuencas, la estabilización de estas zonas afectadas representa una alta inversión y altos costos de operación en la restauración de; servicios públicos, asistencia humanitaria, alojamientos temporales, subsidios, recuperación de cultura, infraestructura, ambiente entre otros.

Actualmente no se encuentran metodologías completas de instituciones gubernamentales, que orienten la evaluación de la amenaza de avenidas torrenciales; esta monografía pretende identificar y comparar procedimientos existentes, unificando la información y determinado su alcance, dando cumplimiento a los objetivos establecidos por la legislación colombiana para “contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible” (Ley 1523, 2012), nutriendo las estrategias a implementar que dará cumplimiento de las metas planteadas por la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

## **4. Objetivos.**

### **4.1. Objetivo general**

Analizar las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Identificar las características morfométricas más relevantes en la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.
- Identificar las características de las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia.
- Comparar las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas colombianas.

## 5. Marco teórico.

### 5.1. Avenidas torrenciales

De acuerdo con lo escrito por Hungr et al. (2001) describen este fenómeno como el desplazamiento de un flujo a una velocidad muy alta que durante su tránsito por un cauce con alta pendiente crece y se vuelve extremadamente rápido (Hungr et al, 2001). Por otra parte, según la Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de 2017, se clasifica como una amenaza de origen socio-natural donde se involucran procesos de degradación antrópica, tales como: deforestación, deterioro de cuencas, deficientes sistemas de drenaje de aguas pluviales entre otros. “Es uno de los movimientos en masa más peligrosos debido a sus características de ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje” (SNGRD , 2017).

En el país, los eventos de avenidas torrenciales están siendo identificados y diferenciados de los movimientos en masa como movimientos en masa de tipo flujo de lodos y detritos. En la Tabla 1 se muestran las características morfométricas y climáticas relacionadas con los movimientos en masa de tipo flujo.

*Tabla 1 Características morfométricas y climáticas de las avenidas torrenciales.*

Característica	Descripción
<b>Tamaño</b>	Cuencas pequeñas de 0,3 km <sup>2</sup> a 150 km <sup>2</sup> o hasta 300 km <sup>2</sup>
<b>Forma</b>	Circulares, se definen empleando el índice de Gravellius o factor forma, estos dan una idea de la probabilidad de creciente.
<b>Pendiente</b>	Pendiente media en sus laderas entre 10% y 13%, y pendientes longitudinales mayores a 4%.
<b>Geomorfología</b>	Cañones en forma de v, relieves abruptos, cambios bruscos de pendientes y evidencias de depósitos de materiales fluvio-torrenciales.
<b>Precipitaciones</b>	De alta intensidad.

Fuente: (SGC, 2017)

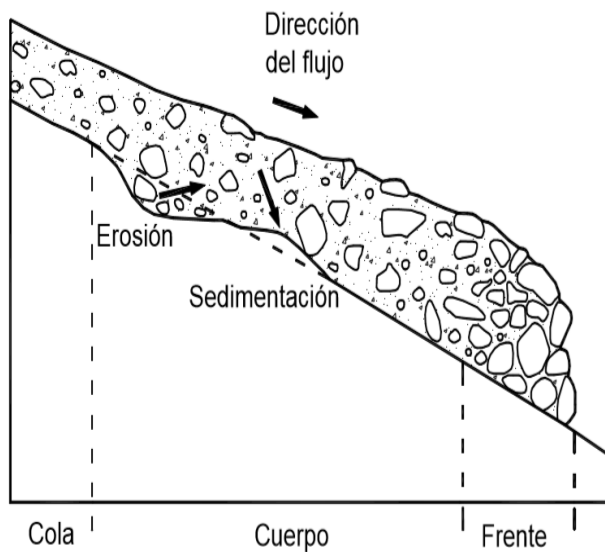
En Colombia las avenidas torrenciales reciben coloquialmente el nombre de avalanchas, sin embargo, en otros lugares son reconocidas con las denominaciones que se muestran en la Tabla 2.

*Tabla 2 Nombre de avenidas torrenciales en otros países.*

País	Nombre	Definición
<b>Indonesia</b>	Lahares	Flujos de lodo generados por el deshielo de conos volcánicos, similar al evento de armero - Tolima de 1985.
<b>Perú</b>	Huaicos	Flujos rápidos de aguas turbias y turbulentas de corta duración, con la presencia de sólidos de distintos tamaños.
<b>Bolivia</b>	Riadas	Flujos torrenciales cargados de sedimentos.

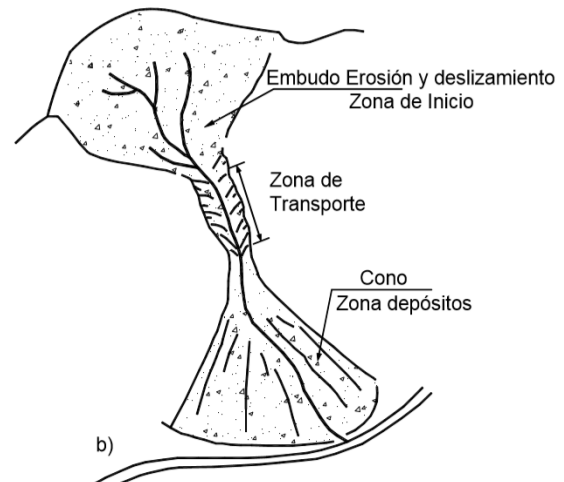
Fuente: (Suarez, 2001)

En la Figura 1 y Figura 2 se muestra las partes básicas de una avenida torrencial desde la vista transversal y superior respectivamente del flujo, más adelante se encuentra las descripciones de los diferentes tipos de flujos en los que se puede presentar un evento como este.



*Figura 1 Partes básicas de un flujo - vista transversal*

Fuente: (Suarez, 2001)



*Figura 2 Partes básicas de un flujo - vista superior*

Fuente: (Suarez, 2001)

## 5.2. Mecanismos detonantes de avenidas torrenciales

La predicción de fenómenos de avenidas torrenciales aumenta su dificultad, debido a las diferentes variables que actúan como factores detonantes. De acuerdo con Suárez, J. (2001) los eventos de remoción en masa y las avenidas torrenciales, “*depende de que ocurran deslizamientos, haya disponibilidad de agua suficiente para fluir y exista una cuenca capaz de*

*concentrar el flujo con alta pendiente para producir grandes velocidades”* (Suarez, 2001), atribuyendo un valor importante a las lluvias intensas y sismos como mecanismos detonantes. Los deslizamientos deben estar relacionados con cuencas de alta montaña y pendientes pronunciadas, de esta manera en el momento de encauzar el flujo adquiera gran velocidad.

#### **5.2.1. Precipitaciones intensas**

Las lluvias tienen dos participaciones importantes en una avenida torrencial: una es el aumento en la cantidad disponible del líquido que permita la mezcla con los sólidos para el desplazamiento por los cuerpos hídricos hasta su convergencia; la segunda es la influencia en zonas con suelos inestables ya sea por sus condiciones evolutivas o por el uso, deteriorando su capacidad de agarre y escurrimiento del líquido, por lo que las precipitaciones intensas actúan como detonantes de movimientos en masa, procesos de erosión o deslizamientos de tierra que bloquea el paso del flujo en las cuencas, contribuyendo en el aumento de la energía con la que se desplaza la avenida (CORPOCALDAS, 2017).

#### **5.2.2. Sismos**

Los sismos actúan como detonantes de las avenidas torrenciales por los movimientos de “las fuerzas tectónicas que están actuando desde hace millones de años; van presionando, y se forman las montañas, se generan las fallas geológicas, se acumula energía, y ahí se libera el sismo” (Fog, 2018). En Colombia la zona donde se juntan las placas tectónicas Nazca y del Caribe contra la placa suramericana, es considerada una de las zonas sísmicas más activas del planeta, el origen de las cordilleras occidental, central y oriental del país se atribuye a la constante actividad entre estas placas. El proceso de subducción que ocurre en la costa pacífica es por el cual los volcanes de la cordillera central cuentan con material fundido disponible durante su actividad. (IDIGER, 2019).

Los eventos sísmicos del país se relacionan con los procesos de subducción de la costa pacífica y las fallas geológicas activas, de acuerdo con los niveles de amenaza sísmica del país, más del 80% de los colombianos están ubicados en zonas con amenaza sísmica intermedia y alta (IDIGER, 2019). Finalmente, en la corteza se sienten los sismos cuando se sobrepasa el límite elástico del medio hasta que se rompe, fractura o disloca el terreno y vibra en forma de ondas por el desplazamiento (Espindola & Pérez, 2018) afectando la estabilidad del suelo, por

lo que las zonas de alta montañas serán más propensas a la ocurrencia de avenidas torrenciales por la obstrucción de las cuencas al desencadenarse movimientos de remoción en masa a causa de los sismos.

### **5.2.3. Erupciones volcánicas**

Algunos volcanes están cubiertos por glaciares, los cuales alimentan nacimientos de cuencas de alta montaña, debido al aumento de la temperatura en el suelo por los procesos de erupción se liberan grandes cantidades de material sólido como los piroclastos, los cuales suelen estar calientes y al precipitar en la superficie causan deshielo, aumentando el caudal de los cuerpos hídricos (Mojica, Colmenares, Villarroel, Macia, & Moreno, 1985). Durante las erupciones la zona es propensa a sismos, los cuales aumentan los procesos de remoción en masa bien sea de suelo o de los glaciares y finalmente se generan flujos de detritos con mezcla de agua y presencia de escombros, rocas y material vegetal (Espindola & Pérez, 2018).

La sinergia que se produce por el aumento del caudal de las diferentes cuencas de alta montaña que forman la red hidrográfica de las zonas donde hay volcanes con glaciares, aumentan la potencia y la energía de los flujos de lodo (por la saturación de agua del deshielo y los escombros, arenas, bloques y material vegetal) siendo incontrolables, alcanzando alturas amenazantes para las poblaciones aledañas.

Un ejemplo en Colombia de la influencia de las erupciones volcánicas como detonante de las avenidas torrenciales, es el evento ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el municipio de Armero, departamento del Tolima, en el cual los cauces de los Ríos Azufrado y Lagunilla se unieron a unos 23 km al oeste, alcanzaron profundidades de agua entre los 10 y 40 metros y velocidades promedio de 40 km/h. Los sedimentos de esta avenida torrencial cubrieron 3.387 hectáreas y transportó un volumen total de material de alrededor de 80.000.000 metros cúbicos, lo que generó más de \$30.000.000.000 de pesos en daños materiales y más de 20.000 personas murieron, todo esto a raíz de la avenida torrencial desatada por el deshielo del Volcán el Nevado del Ruiz durante la erupción (Mojica, Colmenares, Villarroel, Macia, & Moreno, 1985).



#### **5.2.4. Represamiento de cauces**

Este factor se considera uno de los más importantes en los efectos que puede llegar a causar un evento de avenida torrencial, el represamiento del flujo que desciende bien sea en los cauces independientes antes de confluir e iniciar el desplazamiento hasta la formación del abanico aluvial, es una condición que en el momento de romper las paredes que generan el represamiento implica el aumento de: la altura de la mezcla de agua y los escombros, el área de desbordamiento de los cauces aportando una mayor cantidad de rocas, material vegetal y/o suelo y la velocidad con la que se desplaza. (Mojica, Colmenares, Villarroel, Macia, & Moreno, 1985).

Una situación que ilustra una avenida torrencial detonada por el represamiento del flujo es el evento ocurrido El 13 de Noviembre de 1985, en Armero - Tolima, se estima alrededor de dos horas y media, el flujo desde la represa natural de El Sirpe - Santa cruz fue intermitente por el angosto tamaño de los valles bloqueando el paso del cauce el cual transportaba material acumulado, el flujo de lodo se desplazó a una velocidad de 40 km por hora en un trayecto de 72 Km. Atribuyendo a los represamientos: la magnitud y la fuerza con la que la avenida torrencial arrasó con varios puentes, a lo largo del paso por los valles del flujo cuando la quebrada Santo Domingo confluye con el Río Sabandija, se generó represamiento de la mezcla alrededor de 8 horas superando los límites de almacenamiento del cañón del Río Lagunilla, desencadenándose este torrencial evento con numerosas pérdidas. (Mojica, Colmenares, Villarroel, Macia, & Moreno, 1985).

#### **5.2.5. Actividades antrópicas**

Las actividades antrópicas no son como tal un detonante de las avenidas torrenciales, pero, influyen en la capacidad destructiva de este fenómeno. Los inadecuados usos del suelo como la ganadería, deforestación entre otros pueden contribuir a una mayor inestabilidad del terreno asegurando las manifestaciones de algún detonante de avenidas torrenciales como los movimientos en masa por sismos o filtraciones de agua en el suelo descapotado que luego puede erosionarse y/o aportar los sólidos que se mezclaran con el líquido disponible.

Desde tiempos atrás ha sido evidente que las actividades del hombre sin precaución y regulación, tienen consecuencias severas, específicamente para las avenidas torrenciales por el mal uso del suelo cerca de las cuencas de alta montaña. La deforestación y la pérdida de la cobertura vegetal limita el desarrollo del ciclo del agua, impide la absorción y retención del exceso de agua como una esponja, las precipitaciones inconsistentes generan lavado de los suelos descapotados, se generan infiltraciones, lo que conlleva aumento en el proceso de remoción en masa haciendo que una mayor cantidad de sólidos y materiales estén disponibles y bloqueen el paso del fluido causando represamientos, desencadenándose en esta amenaza socio-natural, todo esto producto de la explotación insostenible de los recursos por parte de los pobladores. (Araque, 2019)

Ejemplo de lo anterior es el evento ocurrido en el Río Guadalentín (en el sureste de España), después de varias avenidas torrenciales, se determinó que eran fruto del represamiento en la cuenca, generados por los constantes “los procesos de denudación y su íntima relación con la *pérdida del tapiz vegetal*” (Araque, 2019) que desencadenaban deslizamientos apoyado en el exhaustivo análisis legislativo y estudios técnicos, por lo que urgía la implementación de actividades para apaciguar los efectos de la acción erosiva, es así como la repoblación forestal y la corrección hídrica de la cabecera del río hicieron evidente la importancia de la cobertura vegetal “*a la hora de contener los desastrosos estragos de las inundaciones*” en las poblaciones aledañas. (Codorníu, 1897)

### **5.3. Flujos torrenciales**

Luego de determinar la susceptibilidad, el SGC en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, agrupa a las avenidas torrenciales en los movimientos en masa de tipo flujos que incluye el flujo de detritos y/o flujo de lodos. “*Los flujos son procesos con eventos sobre ríos o quebradas de alta montaña y cuencas con características geomorfológicas que contribuyen a la acumulación de sedimentos, aumento de la densidad, cambios extremos en el gradiente los efluentes y precipitaciones.*” (SGC, 2017)

Suárez. (2001) aclara que los tipos de flujos se clasifican de acuerdo con las “*características de la mezcla, la pendiente y la forma del canal*”. (Suarez, 2001). Las partes

básicas un flujo torrencial al descender por una cuenca, desde la vista transversal y superior, se puede ver en la Figura 1 y Figura 2, las cuales se encuentran el final del concepto de avenidas torrenciales, se observan.

De acuerdo con las condiciones de viscosidad y turbulencia Suarez (2001) utiliza los nombres de “Flujos de lodo, flujos hiperconcentrados y flujos de residuos”, siendo diferenciados de los flujos de inundaciones que no deben superar el 5% de la concentración de partículas o sedimentos y depósitos en forma horizontal (Suarez, 2001). Con el fin de caracterizar cada tipo de flujo Suarez, J. (2001) establece rangos de velocidad y concentración de materiales como se puede ver en la Figura 3 Clasificación de flujos de acuerdo con la velocidad y concentración de sedimentos. Y en la Figura 4 se observan las características de los flujos torrenciales.

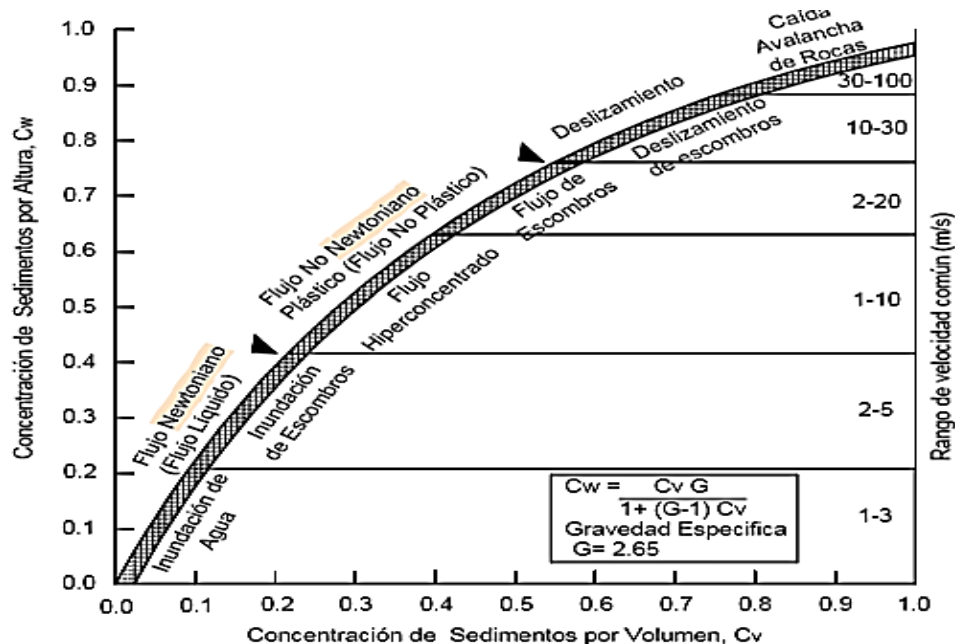


Figura 3 Clasificación de flujos de acuerdo con la velocidad y concentración de sedimentos.

Fuente: (Suarez, 2001)

Características de los Sedimentos	Concentración de Sedimentos de la Mezcla (Kg/m³)	Pendiente del Canal					
		> 100% (45°)	100 a 50%	50 a 20%	20 a 10%	10 a 5%	< 5%
		Tipo de flujo					
Más del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	<90	Flujo hiperconcentrado		Flujo de lodo			
	>90	Flujo de lodo					
	<300	Flujo hiperconcentrado					
Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	300 a 600	Flujo turbulento de residuos (Debris flow)		Flujo hiperconcentrado			
	600 a 900	Flujo turbulento de residuos (Debris flow)					
	>900	Flujo laminar de residuos					

*Figura 4 Tipos de flujos de acuerdo con las características de la mezcla y la cuenca.*

Fuente: (Suarez, 2001)

### 5.3.1. Fluidos Newtonianos

Son llamados fluidos Newtonianos en respuesta al cumplimiento de la ley de viscosidad, durante el desplazamiento laminar los esfuerzos o tensiones aplicadas son directamente proporcionales con los gradientes de la velocidad del flujo, característica física propia de la viscosidad, esta característica es constante siendo una propiedad de resistencia de los líquidos a fluir, el agua, la gasolina y el vino son flujos Newtonianos su viscosidad puede disminuir o aumentar solo con cambios de temperatura. (Arroyo, Jiménez, Meléndez, & Ramírez, Feria XXI).

### 5.3.2. Fluidos No Newtonianos

Estos flujos se deforman en dirección de la fuerza aplicada, su viscosidad no es constante como los fluidos newtonianos ni definida, la reología estudia las sustancias que fluyen y que no se rigen por las propiedades de los flujos comunes o fluidos Newtonianos. Entre estos están las soluciones de agua con arcilla y carbón (Arroyo, Jiménez, Meléndez, & Ramírez, Feria XXI).

### 5.3.3. Flujo hiperconcentrado

La dinámica de este flujo está sujeta al agua, las concentraciones de los sedimentos deben ser superior al 5% el nivel máximo de concentración está ligado con la presencia de limo y arcilla sin superar el 70%, Suárez (2001) menciona una relación proporcional entre la turbulencia y la presencia de materiales gruesos en la mezcla. Estos flujos también se

caracterizan la baja posibilidad de clasificación de los materiales presentes, su textura no presenta cambios representativos.

*“En el flujo hiperconcentrado, predominan las partículas granulares (arenas, gravas, cantos y bloques), la mezcla no tiene cohesión”*, con una concentración de sólidos mayor al 20% y menor al 60%, correspondiente a un peso específico de 2.0 ton/m<sup>3</sup>. Al aumentar la concentración del 60% pierde sus características como flujo Newtoniano (Suarez, 2001).

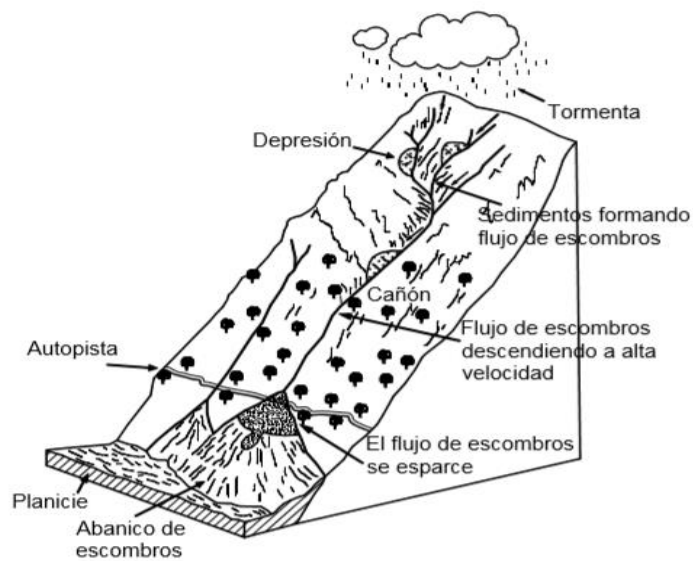
Este flujo tiene una dinámica en su comportamiento similar a los de agua, si los granos están en bajas concentraciones durante el desplazamiento se concentran en la parte inferior del flujo, pero si aumenta estarán dispersos en todo el flujo (Suarez, 2001).

#### **5.3.4. Flujo de lodo**

Se diferencian de los flujos de agua o inundaciones por su concentración de sedimentos según su peso en un rango mínimo de 70% y máximo de 90%. Es un flujo con altas concentraciones de partículas finas como lo son los limos y arcillas, aunque no se exige la presencia de rocas o bloques, los cuales pueden flotar sobre el flujo. Por su característica viscosa también se considera un flujo Newtoniano (Suarez, 2001).

#### **5.3.5. Flujo de residuos o detritos**

Es un movimiento que se favorece por la disponibilidad de materiales como gravas, bloques y arenas, los cuales son transportados y depositados de acuerdo al comportamiento de la cuenca hídrica a la forma de cuenca (SGC, 2017). La consistencia de este flujo es una respuesta al choque entre las rocas que finalmente se convierten en residuos por la fragmentación, haciéndose evidente el tamaño de las partículas entre la cabeza y el pie del movimiento, las lluvias son el principal detonante, pues conllevan a la pérdida de resistencia debido a una menor succión del suelo. (Suarez, 2001) En la Figura 5 se observan el proceso por el que debe atravesar un flujo por el paso de las diferentes partes de una cuenca para formar un evento torrencial.



*Figura 5 Formación de un flujo en una ladera de alta pendiente.*

Fuente: (Suarez, 2001)

#### **5.4. Geomorfología fluvial**

La generación de avenidas torrenciales está altamente influenciada por la geomorfología de los cauces y el relieve de las cuencas (Ordoñez, 2011), las formas de la superficie terrestre y los procesos que resultan de la acción de los cursos de agua superficiales, la influencia del clima, la presión atmosférica y la temperatura, son las responsables condiciones de mayor o menor energía cinética que es ocupada por los ríos para la erosión fluvial, el transporte de sedimentos y la deposición de estos (UDC, s.f.)

##### **5.4.1. Tipos de cuencas**

**Por su relieve:** Cuencas planas, cuencas piedemonte, cuencas accidentadas o de alta montaña.

**Por su ecosistema:** Cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas frías, cuencas húmedas.

**Por la dirección de la evacuación de las aguas:**

**Exorreicas o abiertas:** Este tipo de cuenca se distingue porque drenan sus aguas al mar o al océano. (Ordoñez, 2011)

**Endorreicas o cerradas:** Este tipo de cuenca desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar. (Ordoñez, 2011)

**Arreicos:** Este tipo de cuenca se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje o las aguas se evaporan. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto. (Ordoñez, 2011)

#### **5.4.2. Cuenca hidrográfica**

Es toda superficie del terreno cóncava que aporta sus aguas de escorrentía a un mismo punto de desagüe, integrado por varias sub-cuencas o microcuencas que conducen los flujos de agua hacia un cauce principal, su contorno es una línea curvada y ondulada. El agua que se mueve por la superficie o el subsuelo de una cuenca hidrográfica forma una red de canales que constituye el sistema fluvial o red de drenaje de la cuenca.

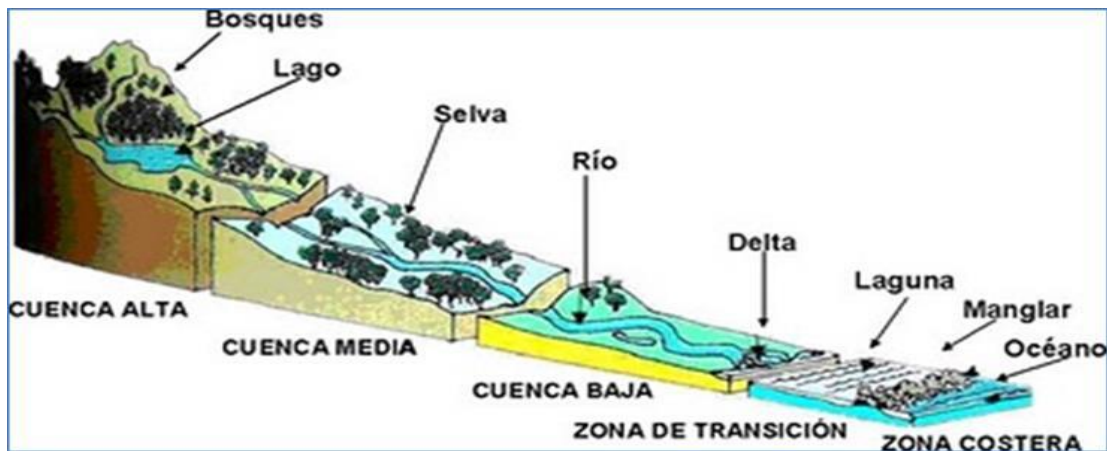
#### **5.4.3. Partes de una cuenca hidrográfica**

En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres partes: alta, media y baja como se muestra en la Figura 6, las cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidro-meteorológicos y en el uso de sus recursos (Ordoñez, 2011)

**Cuenca alta:** Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas. En esta parte se generan procesos de erosión o remoción en masa, aquí es donde se generan la mayoría de los deslizamientos que aportan sedimentos a las avenidas torrenciales (Ordoñez, 2011).

**Cuenca media:** Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido (Ordoñez, 2011). En esta zona se da el transporte de las avenidas torrenciales y en algunos casos a lo largo de su tránsito pueden arrastrar más material del lecho y paredes del cauce.

**Cuenca baja o zonas transicionales:** Esta zona se define como “Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales”. En esta zona se da la deposición de los sedimentos (Ordoñez, 2011).



*Figura 6 Partes de una cuenca hidrográfica*

Fuente: (Ordoñez, 2011)

#### **5.4.4. Clasificación de las corrientes en una cuenca hídrica**

Se dividen en tres clases dependiendo del tipo de escurrimiento, el cual está relacionado con las características físicas y condiciones climáticas de la cuenca.

**Efímera:** Solo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después se seca.

**Intermitente:** Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias; cesa cuando el nivel freático o de las aguas subterráneas desciende por debajo del fondo del cauce. (Ordoñez, 2011)

**Perenne:** Contiene agua todo el tiempo, aún en época de sequía es abastecida por las aguas subterráneas, este aporte es lo que se conoce como flujo base (Ordoñez, 2011)

#### **5.5. Parámetros morfométricos de las cuencas y su influencia en la generación de avenidas torrenciales**

De acuerdo con Suarez 2001, en el capítulo 5 del libro los flujos “*Las propiedades de la cuenca de drenaje son factores muy importantes en la ocurrencia de avalanchas. Entre las propiedades para analizar, se encuentran las siguientes: área de drenaje, longitud, pendiente,*



*altitud, curva hipsométrica, forma de la cuenca, forma, densidad y estructura del sistema de drenaje, cobertura vegetal, rugosidad de la superficie, geología, características de los suelos, configuración de los canales, hidrología y forma de los hidrogramas de creciente*”. Estos parámetros geomorfológicos sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar la amenaza probabilística.

### 5.5.1. Parámetros físicos y del relieve

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características de descarga de una determinada corriente, por lo que sus parámetros y las características de la red de drenaje son un componente probabilístico en la determinación de La forma de la cuenca, la velocidad del escurrimiento superficial y su comportamiento hidrológico.

**Área de la cuenca (A):** Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio, trazada normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas, se expresa normalmente en  $\text{km}^2$  (Cardona, s.f.). Esta corresponde a la proyección horizontal del área que recolecta la escorrentía que llega a un cauce y se delimita de acuerdo con los siguientes criterios (Brugal. 2012):

- La divisoria de aguas debe cortar perpendicularmente las curvas de nivel
- La divisoria de aguas debe pasar por los puntos de mayor nivel topográfico
- La divisoria de aguas corta las curvas de nivel por la parte convexa de estas.
- La divisoria de aguas nunca puede cortar un drenaje. excepto en el punto de salida de la cuenca.

De acuerdo con el área de drenaje esta se puede clasificar como cuenca, subcuenca, microcuenca, sector o unidad, de acuerdo con la Tabla 3:

*Tabla 3 Tipo de áreas de drenaje*

Área de drenaje ( $\text{km}^2$ )	Tipo
<5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca

100 – 300	Subcuenca
>300	Cuenca

Fuente: Ven T Chow, 1964

**Perímetro de cuenca (P):** Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en kilómetros (Cardona, s.f.).

**Longitud de la cuenca (L):** Se define por la distancia de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. (Ibañez, 2011)

**Ancho de la cuenca (B):** Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

**Desnivel altitudinal (DA):** Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja ( $DA=H_M-H_m$ ). Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. (Ibañez, 2011).

**Pendiente media de la cuenca:** La pendiente media de la cuenca corresponde a la variación en la inclinación del terreno respecto a la horizontal, esta determina el comportamiento del movimiento del agua y su capacidad de erosión de carga de lavado. Adicionalmente, la pendiente media del terreno incluye directamente en el tiempo de concentración y en el tiempo de formación de crecientes y avenidas. Las cuencas pueden clasificarse de acuerdo con la pendiente desde relieve plano a muy escarpado (Rojo, s.f.) de acuerdo con lo presentado en la Tabla 4:

*Tabla 4 Clasificación de las cuencas hidrográficas según las pendientes.*

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0 - 3	Plano
3 – 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado

35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
75	Muy escarpado

Fuente: (Rojo, s.f.)

### 5.5.2. Parámetros relacionados con la forma

**Relación de elongación (Re):** Esta relación se obtiene entre el diámetro de un círculo que posea el área de la cuenca y el diámetro sea igual la longitud de la cuenca y su formulación es la siguiente. (Rojo, s.f.)

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

- ✓ Sí  $R_e = 1$  La cuenca es plana
- ✓ Sí  $R_e \leq 0.8$  La cuenca es de relieve pronunciada

**Índice de compacidad:** El índice de compacidad o índice de Gravelius es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área al de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración. Para este parámetro se definen 3 categorías presentadas en la Tabla 5.

$$K_c = \frac{\text{Perímetro}}{2\pi * \left(\frac{\text{Área}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

*Tabla 5 Descripción por rangos índice de compacidad.*

Rango $K_c$	Descripción
1 – 1.25	Forma casi redonda a oval – redonda
1.25 – 1.5	Forma oval – oblonga
>1.5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: Breña, 2006

**Factor de Forma de Horton (Kf):** Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca; los rangos se muestran en Tabla 6.

Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

El valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas (Horton, 1945)

*Tabla 6 Descripción por rangos del factor de forma.*

Rango $K_f$	Forma	Susceptibilidad a avenidas torrenciales
<1	Cuenca alargada	Baja
=1	Cuenca cuadrada	Media
>1	Cuenca achatada	Alta

Fuente: Breña, 2006.

- **Índice de melton**

Relación entre la diferencia de altura máxima y mínima, multiplicado por el área, donde H max y H min (en km) son la cota de altura máxima y mínima de la microcuenca y S, es el área de la microcuenca expresada en km<sup>2</sup>. (Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa, 2019).

$$IM = (H \max - H \min) \times S^{-0.5}$$

Cuando el resultado del índice de Melton es superior a 0,5 se asume que es una microcuenca torrencial. (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009)

Sin embargo, se encuentran diferentes interpretaciones:

Índice Melton: según Bertrand et al.2013

Flujos detritos Me 0.29 – 1.71

Zona inicio flujo Me 0.1 a 0.9

Índice Melton: según Montoya et al., 2009

Drenaje torrencial 0,5

Índice Melton: según Wilford et al., 2004

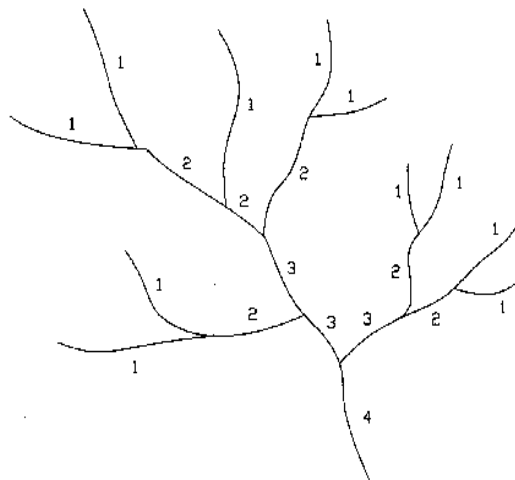
Flujos detritos Me 0.26– 1.21

Zona inicio flujo Me 0.66 a 1.21

Inundación 0.08 a 0.49

### 5.5.3. Parámetros relativos a la red de drenaje

- **Red de drenaje:** Son las trayectorias o corrientes naturales dentro de una cuenca. Es otra característica importante porque manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca (Ordoñez, 2011).
- **Orden de cuenca:** El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal, hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952) como se observa en la Figura 7.



*Figura 7 Ordenación de una red de canales según Strahler.*

Fuente: (Cardona, s.f.)

- **Densidad de drenaje (Dd):** Relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$Dd = \frac{\text{Longitud corrientes (km)}}{\text{Area cuenca (km}^2\text{)}}$$

Valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km<sup>2</sup> se considerar la eficiencia de la red de drenaje. (Rojo, s.f.)

- **Longitud de la corriente principal y longitud máxima de recorrido:** La longitud máxima de recorrido corresponde a la máxima longitud que recorre una gota de agua hasta llegar a la desembocadura o salida de la cuenca, es decir la longitud más larga posible de recorrido, esta es utilizada para el cálculo del tiempo de concentración.
- **Pendiente media del cauce:** La pendiente media del cauce principal se calcula mediante el método de Taylor, el cual define una pendiente media ponderada de acuerdo con la pendiente y longitud de varios tramos, de la siguiente forma.

$$S_o = \left( \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2$$

$$S_o = \text{Pendiente media } \left( \frac{m}{m} \right)$$

$$L = \text{Longitud total del cauce (m)}$$

$$L_i = \text{Longitud del tramo (m)}$$

$$S_i = \text{Pendiente del tramo (m)}$$

#### 5.5.4. Parámetros de drenaje y morfología del cauce principal

El patrón de drenaje o la forma que toma la red de drenaje depende del material del cauce los controles estructurales de la roca subyacente y las geoformas. A continuación, se describen las características de los patrones de drenaje más comunes. (Cortés, 2008)

**Dendrítrico:** Este patrón está formado por una corriente principal con sus afluentes uniéndose libremente en todas direcciones, son cursos pequeños, cortos e irregulares. Cubren

áreas amplias y llegan al cauce principal formando cualquier ángulo. Los cauces que presentan este patrón tienen una composición aproximadamente homogénea y no presentan controles estructurales.

**Paralelo:** El terreno está dominado por una pendiente regional, lo cual impone una dirección predominante para los drenajes, cuanto mayor sea la pendiente más paralela serán los drenajes; es común que se presente en zonas de piedemonte.

**Enrejado:** Es una variación del patrón de drenaje paralelo, en el cual los drenajes tienen control estructural de rocas sedimentarias plegadas y disectadas (cortadas o erosionadas) que pueden variar su composición. Los tributarios cortos confluyen a los canales mayores formando ángulos aproximadamente rectos.

**Rectangular:** Es un patrón de drenaje anguloso debido a la presencia de materiales duros controlados estructuralmente por un sistema de fracturas o fallas geológicas. Este patrón se caracteriza por el paralelismo de sus afluentes generalmente con ángulos rectos.

**Radial:** Es un patrón en forma de domo o cono volcánico. Los drenajes se originan en un punto central alto y terminan en un centro común bajo. Si el patrón es muy nítido sugiere un volcán activo.

**Anular:** Es un patrón similar al radial e indica una etapa avanzada de erosión o caldera volcánica. Las formas anulares se desarrollan cuando el drenaje se acomoda alrededor de un material resistente; puede originarse como una modificación del patrón radial. Si el domo ha plegado estratos alternados de diferente resistencia.

**Multicubeta:** Es un patrón irregular asociado a depósitos superficiales ondulados es común en llanuras aluviales.

**Contorsionado:** Es un patrón aparentemente irregular asociado a rocas metamórficas. Por otra parte, es posible clasificar el cauce principal de acuerdo con 3 morfologías: recto. Meándrico y trenzado o anastomosado las características de estas morfologías se presentan a continuación (Cortés. 2004)

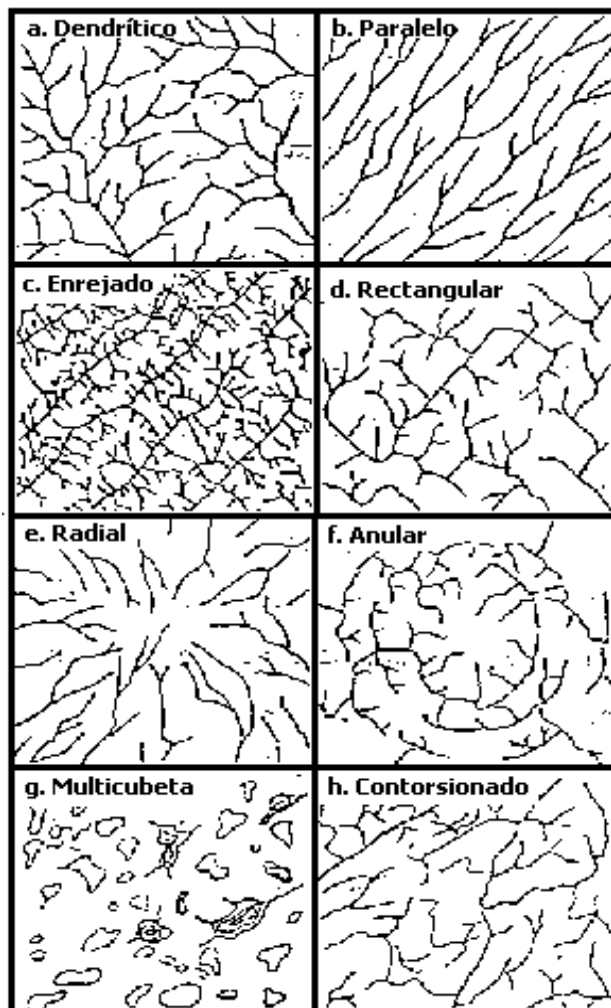
**Recto:** Son cauces que discurren aproximadamente en línea recta. Por lo general controlados geológicamente o por factores antrópicos.

**Meándrico:** Estos cauces tienen una extensión apreciable de llanura de inundación en la cual se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros, producto de procesos de

erosión y sedimentación continuos. En estos cauces es común que se corten los meandros formando madres viejas y nuevos meandros continuamente.

**Trenzado o anastomosado:** El cauce forma varios canales interconectados. Separados por islas y formando trenzas. Se forman debido a procesos de erosión y deposición continua. Esta morfología es típica de llanuras de inundación amplias con alta sedimentación. Pero moderado a bajo caudal.

En la Figura 8, se pueden observar algunos de los patrones de drenajes mencionados y más convencionales.



*Figura 8 Patrones de drenaje*

Fuente: Howard, 1967



## **5.7 Características de una cuenca torrencial**

Existen múltiples factores para la calificación de una cuenca torrencial, principalmente 3 características. La primera relacionada con los parámetros morfométricos propios de una cuenca y la segunda con los factores geológicos y geomorfológicos regionales, la tercera los factores climáticos, como lluvias intensas en un tiempo corto, las cuales desencadenan estos fenómenos (CORNARE, 2012). Las principales características son:

- Cuencas jóvenes y pequeñas menores a 200 km<sup>2</sup>
- Cuencas en regiones montañosas y escarpadas
- Alta pendiente del canal central y de la pendiente media de la cuenca
- Cuencas con valles o cañones estrechos en V
- Geoforma achatada de la cuenca
- Gran capacidad de socavación e incisión del cauce
- Abundante material detrítico para arrastrar
- Capacidad de transporte de material heterométrico
- Gran variabilidad del caudal máximo y mínimo en la cuenca
- Variaciones extremas en los valores pico de precipitación
- Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

## **5.6. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)**

En los lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA, realizado por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; se encuentra el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) el cual fue desarrollado con el fin de delimitar áreas que pueden verse afectadas por eventos de origen torrencial, identificando cuencas con alta susceptibilidad (IDEAM, 2013). Este índice se utiliza

en la formulación de POMCAS (Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas) para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales.

Para la delimitación de las áreas que pueden verse afectadas por eventos de origen torrencial, se aplicará el procedimiento descrito en la Figura 9



*Figura 9 Delimitación de áreas amenazadas por eventos de origen torrencial*

Fuente: (IDEAM, 2013)

La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfológicos de torrencialidad e índice de variabilidad, de acuerdo a lo dispuesto por el (IDEAM, 2013, pág. 248)

*“El Índice morfológico de torrencialidad es la relación entre los parámetros morfológicos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009).*

*El Índice de variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan y los valores máximos.”*

Para categorizar el índice morfométrico se tiene en cuenta 3 variables morfométricas; la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de compacidad o de forma, estableciendo categorías o rangos con valores promedio, mientras mayores sean estos valores, mayor tendencia a que en la cuenca se presenten procesos torrenciales. En la Tabla 7 se muestran los rangos de la clasificación de los parámetros.

En la Tabla 8 se relaciona las variables según las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros indicados.

*“Una condición muy alta para el índice morfométrico corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables, que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente. La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.” (IDEAM, 2013)*

Tabla 7 Relaciones para categorizar el índice morfométrico.

Índice morfométrico.	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km <sup>2</sup> )	Categorías				
			1	2	3	4	5
<b>Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)</b>	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			<b>Baja</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Muy Alta</b>
<b>Pendiente media de la cuenca (%)</b>	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			<b>Accidentado</b>	<b>Fuerte</b>	<b>Muy Fuerte</b>	<b>Escarpado</b>	<b>Muy Escarpado</b>
<b>Coefficiente de compacidad</b>			<1,625	1,376 - 1,500	1,251 - 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			<b>Oval- oblonga a rectangular-oblonga</b>	<b>Oval-redonda a oval-oblonga</b>		<b>Casi redonda a oval-redonda</b>	

Fuente: (IDEAM, 2013)

Tabla 8 Relaciones entre variables para el índice morfométrico.

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1	Coeficiente de forma
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	



Muy alta  
Alta  
Baja



Moderada  
Muy baja

Fuente: (IDEAM, 2013)

- **Índice de variabilidad de caudales:** Describe el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan y los valores máximos, por medio de la ecuación se logra obtener un resultado el cual se clasifica en la Tabla 9. (IDEAM, 2013)

$$\text{Índice de variabilidad} = (\log(Q_i) - \log(Q_f)) / (\log(x_i) - \log(x_f))$$

Donde:

$Q_i$  y  $Q_f$  = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales.

$X_i$  y  $X_f$  = Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales  $Q_i$  y  $Q_f$

*Tabla 9 Clasificación del índice de variabilidad*

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
<10°	Muy baja
10,1° -37°	Baja
37,1° – 47°	Media
47,1° – 55°	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

- **Cálculo de Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)**

Se determina con una matriz de correlación entre el índice morfométrico de torrencialidad y el índice de variabilidad de caudales de la dada en la Tabla 9:

*Tabla 9 Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)*

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

## 5.7. Análisis del riesgo

El análisis de riesgo tiene como intención determinar los componentes de un sistema que requieren protección, sus vulnerabilidades y las amenazas que lo ponen en peligro, con el fin de valorar su grado de riesgo.

De acuerdo con Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño el riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y

sus consecuencias negativas, los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. Con los factores mencionados se compone la siguiente fórmula de riesgo.

$$\textbf{Riesgo} = \textbf{Amenaza} \times \textbf{Vulnerabilidad}$$

Para la gestión de riesgo de desastre efectiva, es indispensable la comprensión de cómo interactúan los factores de riesgo (condiciones de amenaza y vulnerabilidad) para determinar aquellas situaciones de riesgo que realmente afectan a las comunidades y a los ecosistemas de los cuales dependen, reconociendo los eventos que superaran la capacidad de respuesta y recuperación del sistema. (UNISDR, 2019)

#### **5.7.1. Amenaza**

Es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia (UNISDR, 2019)

- **Amenazas de origen natural:** Procesos o fenómenos de la dinámica terrestre que tienen lugar en la biosfera y pueden transformarse en un evento perjudicial y destructivo ante la exposición de personas o instalaciones físicas, que pueden causar la muerte, lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental de un territorio o comunidad. (UNISDR, 2019).

#### **5.7.2. Vulnerabilidad**

Son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. (UNISDR, 2019)

**Tipos de vulnerabilidad:** La complejidad del término se extiende por la posibilidad de aplicarlo en diferentes escenarios, como por ejemplo: la probabilidad de causar daño a un individuo o de violar la seguridad de un sistema operativo y poner en riesgo la integridad de la información que posee, es considerada una característica inherente de lo humano, también se relaciona con las limitantes del medio o entorno desde la perspectiva de sus condiciones ambientales, sociales, económicas, culturales, entre otras. (Feito, 2007)

Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia, expresando su relación en la siguiente fórmula.

$$\textbf{Vulnerabilidad} = \textbf{Exposición} \times \textbf{Susceptibilidad} / \textbf{Resiliencia}$$

**Exposición:** Es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo. (UNISDR, 2019)

**Susceptibilidad:** Es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso. (UNISDR, 2019)

**Resiliencia:** Es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básica. (UNISDR, 2019)

## **6. Análisis de metodologías de evaluación del riesgo aplicadas en Colombia**

La evaluación del riesgo es indispensable para determinar aquellas situaciones de amenaza y vulnerabilidad que realmente afectan a las comunidades y a los ecosistemas de los cuales dependen, reconociendo los eventos que superaran la capacidad de respuesta y recuperación del sistema. (UNISDR, 2019)

El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia, “una Estrategia de Desarrollo” es el instrumento de la Ley 1523, que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de la planificación del desarrollo nacional en este constituye una hoja de ruta para el país que convoca a los diferentes actores del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres SNGRD, a implementar acciones conjuntas para llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo, contribuyendo a la seguridad, la calidad de vida y al desarrollo sostenible.



La prevención y mitigación de riesgos derivados de eventos de origen y socio naturales deben pertenecer a una planificación segura, presente en los procesos de toma de decisiones de los municipios, los departamentos y la nación; para garantizar inversiones seguras y benéficas desde el punto de vista social y económico. Por eso uno de los objetivos principales del Plan Nacional es garantizar que las distintas entidades de Planificación participen especialmente del DNP, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Minas y Energía, las Corporaciones Autónomas Regionales, las oficinas de planeación, los Concejos Municipales y las entidades encargadas de la prestación de servicios públicos y las empresas privadas que realicen actividades riesgosas. (PNGRD, 2015-2025)

### **6.1. Metodologías usadas por los POMCA**

Colombia cuenta con 17 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas conocidos como POMCA aprobados bajo el nuevo marco legal de Planificación de Cuencas los cuales tienen una zonificación ambiental y un marco programático de gestión a diez años, que permite una gestión por parte de las Autoridades Ambientales. (Minambiente, 2018) Sin embargo, existen otros POMCA que aún no están actualizados y presentan evaluación del riesgo por avenidas torrenciales.

Dentro de estos se revisaron 21 estudios para diferentes cuencas colombianas (ver Tabla 12), con el fin de conocer las generalidades de la metodología utilizada para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales. Se observó que algunas siguen el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA (Minambiente, 2014) el cual se generó para la *“Formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento Ambiental del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como una Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País”*.

Siguiendo un modelo similar en todos los estudios de las cuencas, estos inician clasificando la susceptibilidad con una investigación de hechos históricos, la cual se centra en la identificación de los principales eventos que han afectado a la cuenca, su ocurrencia y los posibles daños asociados (CAR, 2017). De haber existido eventos pasados la cuenca se

cataloga como altamente probable de que pueda ocurrir nuevamente.

Posteriormente, se realiza un análisis de las características morfométricas que definen el tamaño y forma de la cuenca, la pendiente, la geomorfología, la cantidad y aporte de sedimentos, la permeabilidad y humedad del suelo, la densidad de drenaje, pendiente de la cuenca, coeficiente de compacidad, entre otros. Finalmente, determinan la susceptibilidad por medio del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) y otros índices como el índice de Melton o el método de jerarquías analíticas Saaty.

La evaluación de la amenaza se realiza con el cruce de zonas susceptibles halladas anteriormente, con la precipitación para diferentes periodos de retorno y zonas de alta amenaza por movimientos en masa, para así asignar categorías de amenaza, de acuerdo con el traslape de estas variables.

El análisis de vulnerabilidad se basa en la cartografía base, información socioeconómica de la población ubicada dentro de la zona de la cuenca y la información de cobertura y uso de la tierra, para ello se evalúan el índice de Exposición (IP), índice de Fragilidad (IF) y índice de Resiliencia (IR), determinando el índice de Vulnerabilidad (IV) estos cuentan con unos niveles que al realizar la ecuación arroja unos niveles que permite clasificar según la Tabla 10.

$$(IV = [I \times IF \times IR] / IP_{max})$$

*Tabla 10 Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS.*

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Color
<b>0.75 - 1</b>	Alta	Rojo
<b>0.30 – 0.75</b>	Media	Amarillo
<b>0 – 0.30</b>	Baja	Verde

**Fuente:** (Minambiente, 2014)

La evaluación de la vulnerabilidad se realiza solo para las áreas que presenten susceptibilidad alta y media y/o amenaza alta y media, si no se tienen estos niveles en centros poblados o zonas urbanas, solo se efectúa el cálculo de zonas homogéneas rurales (ZHR) (CAR, 2017).

Por último, se realiza el Análisis de riesgo, este puede ser cualitativo o cuantitativo y cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento

amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc. Se categoriza según la Tabla 11

*Tabla 11 Matriz categorización riesgo.*

NIVELES DE AMENAZA	NIVELES DE VULNERABILIDAD		
	Alta (75% - 00%)	Media (30% - 75%)	Baja (0% - 30%)
Alta	Alto	Alto	Medio
Media	Alto	Medio	Bajo
Baja	Medio	Medio	Bajo

Fuente (Minambiente, 2014)

#### 6.1.1. POMCA Río Bogotá

La metodología de la evaluación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca del Río Bogotá, presentan similitud con el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, establece en primer lugar un análisis y caracterización de eventos torrenciales históricos, la generación de un mapa de vulnerabilidad por eventos torrenciales IVET y la comparación de los demás POMCAS, emplea una metodología que utiliza un análisis geomorfológico para identificar las unidades relacionadas con eventos torrenciales, este método se generó alternativo debido a que la cuenca presentaba muy pocos eventos históricos y mediante la modelación hidráulica simplificada se determinó la posible altura y velocidad del flujo para diferentes periodos de retorno y con estos parámetros calcular el ancho de influencia del flujo (CAR, 2017).

#### **Análisis alternativo de la amenaza mediante cálculos hidráulicos aproximados**

Se realiza una investigación de condiciones hidrológicas, hidrográficas y morfométricas de las cuencas y sub-cuencas de drenaje. Se determinan los diferentes órdenes de Strahler, y para cada uno de esos órdenes, se evalúan las características promedio de área, longitud, pendiente y densidad de corrientes, para determinar con ello, las alturas, velocidades y anchos del flujo para diferentes períodos de retorno, con lo cual se puede estimar la Amenaza.

#### **Características hidrológicas**

La determinación de hidrogramas, según (CAR, 2017) se realiza *“utilizando un programa como HEC-HMS del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, para lo cual se necesitan únicamente curvas IDF y parámetros que se pueden obtener del estudio de tormentas suministrado por la EAB”*

### **Características hidráulicas**

En el caso de flujos torrenciales sobre pendientes altas, mayores del 0,5 %, los modelos cinemáticos dan tan buenos resultados como los modelos dinámicos, ya que, debido a la cercanía de los flujos torrenciales al flujo crítico, las ecuaciones dinámicas revierten a las cinemáticas; los modelos de flujo gradualmente variado (HEC- RAS,)

### **Modelación simplificada de inundaciones torrenciales.**

La CAR describe el método utilizado para la modelación simplificada de inundaciones de la siguiente manera, *“Una manera simplificada de obtener manchas de inundación para avenidas torrenciales - cuando no existe mucha información para deducir los hidrogramas de entrada- y sin utilizar modelos de tránsito de avenidas.*

- *Paso simplificado 1: Obtener los caudales de avenida para un  $T_r$  dado, de un estudio de regionalización de las curvas de frecuencia de caudales extremos.*
- *Paso simplificado 2: Estimar en forma aproximada el coeficiente de Manning del canal.*
- *Paso simplificado 3: Estimar el valor del número de Froude, sabiendo que no puede ser mayor de 2.0 ni menor de 0.65; para  $S_o \geq 5\%$  se deben usar números de Froude mayores de 1.0, y para  $S_o \leq 1\%$ , números de Froude entre 0.65 y 1.0.*
  - *Paso simplificado 4: Calcular el valor de  $qF$ , caudal máximo por unidad de ancho en la sección;  $Q_f$  es el caudal total*
- *Paso simplificado 5: Calcular la profundidad crítica para  $qF$*
- *Paso simplificado 6: Calcular  $y_{max} = 1.4 y_c$ ;  $y_{min} = 0.7 y_{min}$ ;  $V_{max}$ ,  $V_{min}$ ,  $h_{vmax}$*
- *Paso simplificado 7: Calcular  $q_m$*

- *Paso simplificado 8: Calcular el ancho  $b = Qf/qF$ ; el ancho de la mancha de inundación” (CAR, 2017, pág. 185)*

A continuación, en la Tabla 12 se presenta de forma general las variables tenidas en cuenta para el análisis de riesgo en cada uno de los POMCAS analizados.

*Tabla 12 POMCAS revisados y generalidades de las metodologías aplicadas en estos*

POMCA	Generalidades de la metodología
<b>Río Piedras, Río Manzanares. (Corpamag, s.f)</b>	<b>Susceptibilidad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis morfológico: Cálculo del IVET.</li> <li>• Caracterización geomorfológica</li> <li>• Análisis de eventos históricos.</li> </ul> <b>Amenaza:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cruce de áreas susceptibles con caracterización geomorfológica zonas de movimientos en masa y acontecimientos y eventos importantes que generen una alerta.</li> </ul>
<b>Río Seco y otros directos al Magdalena. (CAR, s.f)</b>	
<b>Río Tillavá (Corantioquia, s.f.)</b>	
<b>Río Guarino (Corpocaldas, 2015)</b>	
<b>Río Medio y Bajo Suárez (CAR, s.f.)</b>	
<b>Río La Miel (Corpocaldas, 2016)</b>	
<b>Río Garagoa (Corpoboyaca, 2017)</b>	
<b>Río Zulia (Corponor, 2018)</b>	Inventario de eventos históricos
<b>Quebrada Las Pannels y La Balsa (Cortolima, s.f.)</b>	
<b>Río Guamal (Cormacarena, 2013)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza la metodología del IDEAM para análisis de inundaciones</li> </ul>
<b>Río Alto Suárez (CAR, 2017)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización histórica de eventos</li> <li>• Evaluación multitemporal de imágenes satelitales para determinar áreas de depósitos.</li> </ul> <b>Susceptibilidad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis geomorfológico</li> <li>• Identificación de zonas susceptibles (cruce análisis geomorfológico con IVET)</li> </ul> <b>Amenaza:</b> Análisis cualitativo cruce entre susceptibilidad y zonas activas de movimientos. <b>Vulnerabilidad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición: Solo para áreas con susceptibilidad alta y media y/o amenaza alta y media. Índice de pérdida</li> <li>• Fragilidad: física, cultural, ecosistémica.</li> </ul>	
<b>Río Carare Minero (CAR, 2015)</b>	
<b>Susceptibilidad:</b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de jerarquías analíticas Saaty, 1980: asignación de pesos a diferentes componentes físicos (red de drenaje, morfometría, geomorfología, cobertura vegetal, etc.)</li> <li>• Cálculo del IVET</li> <li>• Cálculo de índice de variabilidad de caudales</li> <li>• Caracterización de eventos históricos</li> </ul> <p>Amenaza: Cruce de zonas susceptibles con precipitación para diferentes periodos de retorno y asignación de categorías de amenaza.</p>	
<b>Río Aburra (Corantioquia , 2016)</b>	
<p>Susceptibilidad: Análisis morfológico (IVET, índice de Melton, índice de variabilidad), existencia de eventos previos, geomorfología.</p> <p>Amenaza: Cruce de susceptibilidad con áreas de movimientos en masa.</p>	
<b>Río Medio y Bajo Ariari (Cormacarena, 2016)</b>	
<p>Susceptibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis morfológico, Cálculo del IVET.</li> <li>• Caracterización geomorfológica</li> <li>• Análisis de eventos históricos</li> </ul> <p>Amenaza: Cruce de áreas susceptibles con caracterización geomorfológica zonas de movimientos en masa y eventos históricos</p>	
<b>Río Arma (Corpocaldas, 2017)</b>	<p><b>Susceptibilidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventos históricos</li> <li>• Cálculo del IVET</li> <li>• Análisis geomorfológico</li> </ul>
<b>Río La Vieja (CRQ &amp; CVC, 2017)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de eventos históricos</li> </ul> <p><b>Susceptibilidad:</b> IVET y geomorfología</p> <p><b>Amenaza:</b> Cruce zonas actividad reciente con eventos históricos</p> <p><b>Vulnerabilidad:</b> Índice de pérdida, índice de fragilidad, índice de Resiliencia</p> <p><b>Exposición:</b> Elementos expuestos</p>	
<b>Río Anamichu (Cortolima, 2018)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asocia el movimiento o remoción en masa con el riesgo de avenidas torrenciales</li> <li>• Susceptibilidad a remoción en masa. Análisis de Riesgos, Con amenaza por movimientos en masa</li> </ul>	
<b>Río Cusiana (Corporinoquía, 2019)</b>	
<p>Susceptibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IVET, índice de Melton, índice de variabilidad</li> <li>• Análisis geomorfológico</li> <li>• Eventos históricos</li> </ul> <p>Amenaza:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cruce de áreas con alta amenaza por movimientos en masa</li> <li>• Análisis topográfico de posición <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponderación de cada variable</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Río Guayuriba (CAR, 2018)</b>	

<b>Susceptibilidad:</b> Análisis morfométrico (IVET, índice de Melton, índice de variabilidad), existencia de eventos previos, geomorfología <b>Amenaza:</b> Cruce de susceptibilidad con áreas de movimientos en masa	
<b>Río Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras (CVC, 2019)</b>	Análisis de eventos históricos <b>Susceptibilidad:</b> IVET y geomorfología <b>Amenaza:</b> Cruce zonas actividad reciente con eventos históricos
<b>Río Bogotá (CAR, 2017)</b>	
Análisis de eventos históricos <b>Susceptibilidad:</b> Análisis morfométrico IVET y geomorfología <b>Amenaza:</b> Simulaciones hidráulicas para amenaza <b>Vulnerabilidad:</b> Índice de pérdida, índice de fragilidad, índice de Resiliencia <b>Exposición:</b> Elementos expuestos, Simulaciones hidráulicas para amenaza	

Fuente: Adaptado de POMCAS por Vera, E.

En la Figura 10 y Figura 11 se presenta en forma de diagrama de flujo la forma resumida de la metodología utilizada en los POMCAS para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales

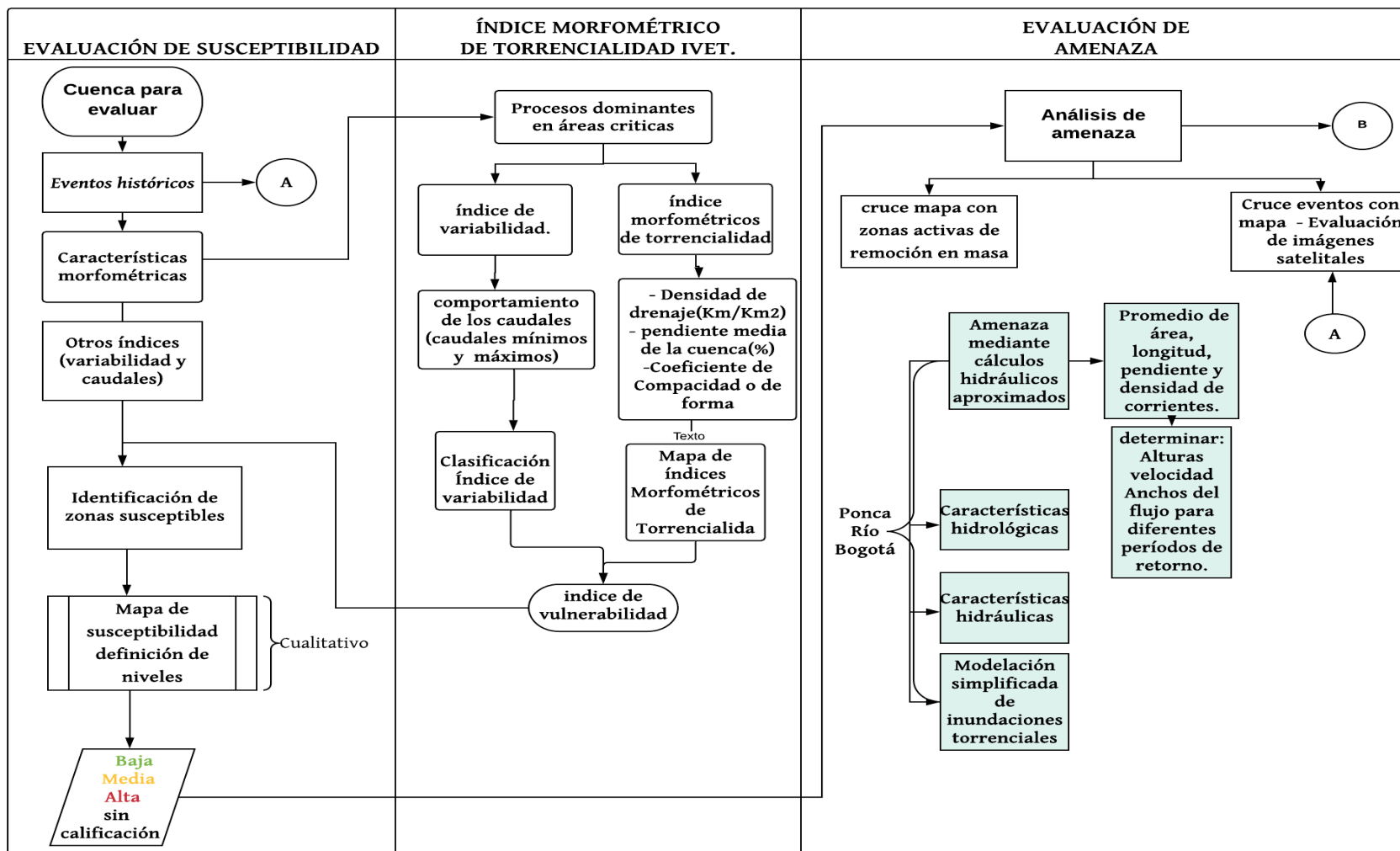
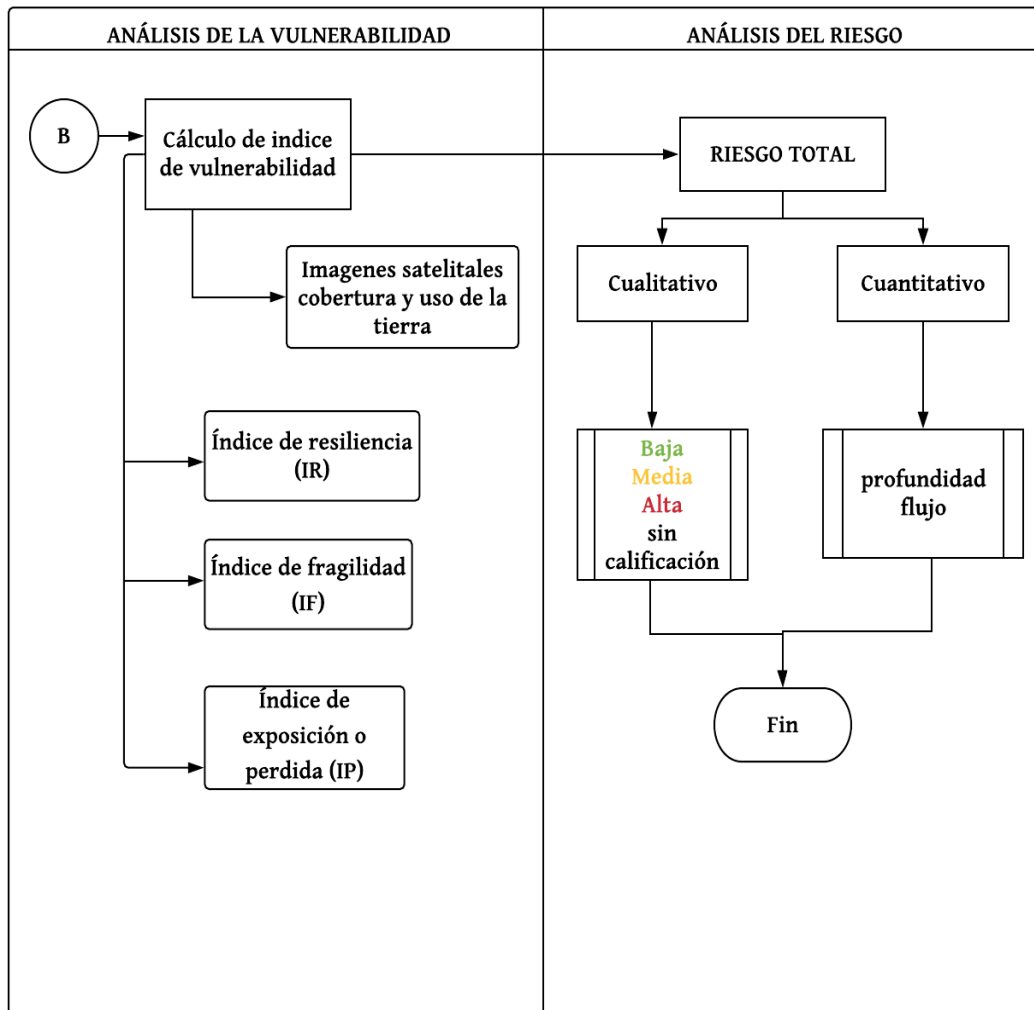


Figura 10 Metodología para evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicada en los POMCAS

Fuente: Adaptado de POMCAS por Vera, E





*Figura 11 Metodología para evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicada en los POMCAS*

Fuente: Adaptado de POMCAS por Vera, E

## 6.2. Estudios de riesgo de municipios y otros estudios independientes.

Se revisaron 13 estudios de riesgo, 7 artículos científicos y una tesis de maestría con el fin de conocer las diferentes aproximaciones metodológicas de los municipios e investigaciones para la determinación del riesgo ante eventos de avenida torrencial. En la Tabla 13 se presenta el listado de los documentos revisados, así como las generalidades de las metodologías utilizadas.

*Tabla 13 Generalidades de las metodologías utilizadas en estudios de riesgo e investigaciones revisadas.*

<b>Estudio</b>	<b>Tipo de Estudio</b>	
Evaluación riesgo Avenidas torrenciales Villa Restrepo, Ibagué. (Barrios & Olaya, 2007)	Tesis maestría	Modelación hidrológica e hidráulica (FLO2D) y análisis de vulnerabilidad
<b>Tipo de estudio</b>	Artículo	
<b>Estudio</b>	<b>Generalidades metodología</b>	
Calculo y análisis de hidrogramas para el flujo torrencial del 22 de junio de 2006 ocurrido en la microcuenca "El Salto", Ibagué -Colombia. (Barrios & Olaya, 2007)	Generación de un hidrograma sintético de avalancha y un hidrograma analítico fundamentado en mediciones de campo.	
Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas caso Q. Doña María. (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009)	Métodos cualitativos <ul style="list-style-type: none"> <li>- sistemas de información geográfica.</li> <li>- software IDRISI Kilimanjaro</li> </ul> combinación de diversos parámetros	
Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de aburra (Caballero, 2011)	Amenaza por condiciones geomorfológicas	
Zonificación amenaza avenidas torrenciales Belén, Boyacá (Gutiérrez, 2015)	Esquema metodológico	
Dinámica de flujos de lodos (Insuasty, 2012)	Generalidades	
Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes inestables Ibagué. (Hernandez & Ramirez, 2016)	Métodos cualitativos. Factores que influyen en la amenaza. <b>Vulnerabilidad:</b> probabilidad de ocurrencia dada como resultado del parámetro RVF	
Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para las quebradas el Chulo y el Tablón en la zona urbana del municipio de Gachetá Cundinamarca. (Sierra, 2018)	Uso del modelo FLO2D para simulación de escenarios para diferentes periodos de retorno	
<b>Tipo de estudio</b>	Estudio de riesgo	
<b>Estudio</b>	<b>Generalidades metodología</b>	
Amenaza por avenidas torrenciales en zona urbana de Ibagué. (CIMPP, s.f.)	Metodología de inundaciones <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros de cuenca y subcuencas</li> <li>- Características hidrometereológicas e hidráulicas</li> </ul>	

	Características climatológicas
Estudios básicos de inundación y avenidas torrenciales Tauramena (Tauramena- Casanare, 2014)	Metodología de inundaciones <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geomorfología</li> <li>- Geo-dinamismo torrencial</li> </ul>
Zonificación de amenaza por movimientos en masa y por avenidas torrenciales para el área del municipio de Ituango y zonificación de amenaza y riesgo por movimientos en masa y por inundación para el casco urbano y los corregimientos de Santa Rita Y La Granja. (García, 2002)	Relación no movimiento en masa y geología. Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en el Municipio de Ituango. procesos morfo-dinámicos y de la zonificación de amenazas por movimientos en masa
Libro I y II Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. (UNAL-CORANTIOQUIA, 2009)	Amenaza, vulnerabilidad y riesgo. SIG y análisis hidrológico
Zonificación de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales municipio San Rafael, Antioquia. (Cornare , 2012)	<b>Susceptibilidad:</b> Cruce de mapas de morfometría, geomorfología, precipitación, cobertura vegetal con pesos <b>Amenaza por avenida torrencial:</b> parámetros morfométricos. Vulnerabilidad identificada para determinar el nivel de riesgo.
Evaluación de riesgos por avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa municipio de La Ceja (Cornare - Gobernación de Antioquia, 2012)	<b>Susceptibilidad:</b> Cruce de mapas de morfometría, geomorfología, precipitación, cobertura vegetal con pesos <b>Amenaza por avenida torrencial:</b> parámetros morfométricos. Niveles de vulnerabilidad identificados para determinar el nivel de riesgo
Estudios para delimitación de amenazas naturales en once municipios jurisdicción de Corantioquia. (Corantioquia- Universidad EAFIT, 2015)	Método inundaciones con morfometría <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonificación de amenaza por movimiento en masa.</li> </ul>
Escenario de riesgo Valle de Aburrá por avenidas torrenciales Quebrada La Limona. (Rojas, 2016)	<b>Incompleto.</b> Antecedentes de situaciones de desastres y/o emergencias y condiciones de amenaza
Amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá (Vargas, 2017)	Análisis hidrológico, hidráulico y sedimentológico

Zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las cuencas de los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suarez y modelo hidráulico en el área de confluencia en el departamento de Santander usando SIG escala 1: 25000. (Giral & Ruiz, 2017)	Susceptibilidad por avenida torrencial mediante procesamiento de datos y Modelamiento en SIG
Vulnerabilidad avenidas torrenciales Fusagasugá. (Torres & Salamanca)	Análisis de Vulnerabilidad, amenaza, cambio climático
Amenaza por movimientos en masa tipo flujo en las Quebrada Taruca, Taruquita, San Antonio y el Carmen y los Ríos Mulato y Sangoyaco, Mocoa	Modelación y simulación del evento de 2017
Gestión del riesgo municipio de Salgar, Antioquia. (Cañas et al, s.f.)	Índices morfológicos - vulnerabilidad

Fuente autores

Una vez se realizó la revisión de los documentos se elaboraron diagramas de acuerdo con las metodologías más completas y representativas con respecto a la evaluación de estos fenómenos de amenaza socio – natural, los resultados de esta actividad se pueden observar en la Figura 12, la Figura 13, y la Tabla 15. A continuación, se detallan los pasos realizados en estas metodologías.

### **6.3. Estudio de riesgo: Amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá, 2017**

Es un Documento Técnico de Soporte (DTS) del mapa normativo de amenaza por avenidas torrenciales para las zonas urbanas, de expansión a escala 1:5000 y la zona rural a escala 1:25000, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C.

Este documento tiene como objetivo generar un mapa de amenaza por avenidas torrenciales para la zona urbana y de expansión de Bogotá, identificando factores relevantes como lo son la ubicación geográfica, el efecto de la variabilidad climática y cambios de

cobertura de las cuencas de alta montaña delimitando y zonificando áreas de amenaza potenciales, de esta forma pretenden evitar impactos en los ciudadanos e infraestructura estableciendo medidas de intervención y/o restricciones del uso y la ocupación del territorio que debe tenerse en cuenta en la revisión y actualización del instrumento de planificación territorial Plan de Ordenamiento Territorial – POT. (Vargas, 2017)

### **6.3.1. Área de estudio.**

En la Figura 11 se presenta un diagrama cada uno de los pasos de la metodología aplicada en este estudio de riesgo.

La metodología usada en este estudio inicia con la identificación del área, la recopilación de información disponible relacionada con la cuenca; evaluando y analizando la información relacionada con instrumentos de gestión del riesgo propias del IDIGER y otras entidades como la Secretaría Distrital de Planeación (SDP), la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Servicio Geológico Colombiano y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

### **6.3.2. Evaluación de la amenaza**

Se realiza por medio de un esquema metodológico el cual se divide en tres.

**Análisis hidrológico:** Comprende dos etapas 1. Delimitar las cuencas a partir del modelo de elevación digital de la cuenca (DEM) y el sistema hídrico en ArcGIS donde para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se evalúan los parámetros morfométricos: pendiente, orden de corriente, longitud de flujo para calcular el tiempo de concentración y el tiempo al pico de las cuencas hidrográficas.

Se estima el hietograma de precipitación por medio de modelo de lluvia escorrentía bajo un escenario de periodo de retorno; el cual será el insumo de entrada del modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico, utilizando la caracterización de tormentas y actualización de curvas de intensidad duración frecuencia IDF desarrolladas por la EAB.

**Análisis de sedimento:** Por medio del mapa de procesos geomorfológicos identifican procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos, esto se determina de acuerdo con la literatura especializada asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

**Análisis hidráulico:** A partir del hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, se obtiene como resultado las velocidades y profundidades máximas del modelo de elevación digital del tramo, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan según a la condición de amenaza.

### 6.3.3. Análisis de la amenaza

A partir de los resultados de altura de lámina de agua y velocidades obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 14. Dejando como resultado la zonificación, mapa de amenazas por avenidas torrenciales y mapa de riesgo.

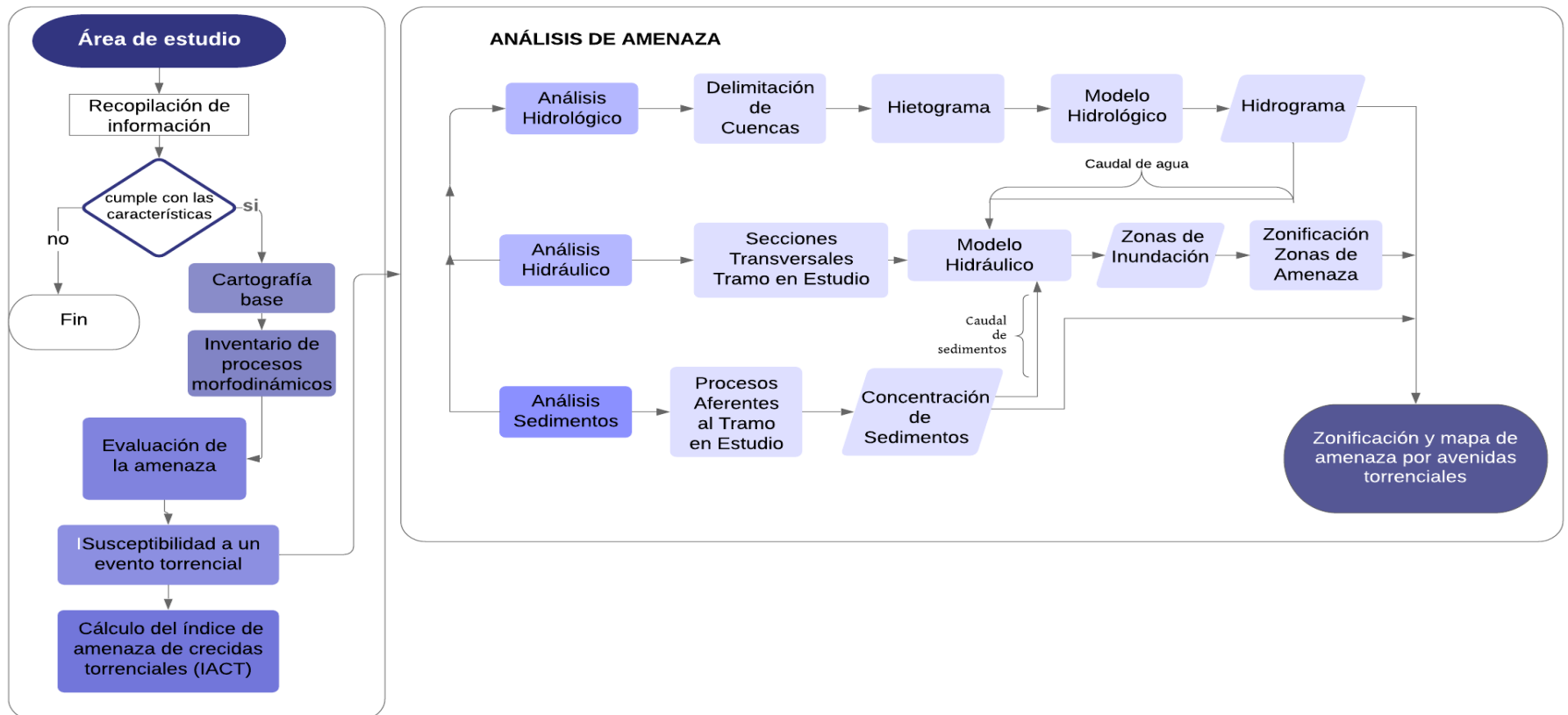
*Tabla 14 Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia.*

				<b>Probabilidad de ocurrencia, P</b>		
	Buwal (1997)	Rickenmenn (2005)		Alta	Media	bajo
<b>Intensidad, I</b>	$h > 1.0 m$ y $v > 1.0 m/s$	$h > 1.0 m$ o $v > 1.5 m/s$	Alta	Alta	Alta	Moderada
	$h < 1.0 m$ o $V < 1.0 m/S$	$h < 1.0 m$ y $0.4 < V < 1.5 m/S$	Media	Moderada	Moderada	Baja
	No existen	$h < 0.4 m$ y $V < 0.4 m/S$	Baja	Baja	Baja	Muy Baja
	Áreas no afectadas			Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja

Fuente: (Vargas, 2017)

En la Figura 12, se explica por medio de un diagrama la metodología usada por este estudio de riesgo.

**Amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva  
de cambio climático Bogotá**



*Figura 12 Diagrama metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá*

Fuente: Adaptado de (Vargas, 2017) por Vera, E.

#### **6.4. Estudio de riesgo: Análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en el Valle de Aburra, 2009.**

El siguiente diagrama se basa en el trabajo realizado entre la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el área metropolitana del Valle de Aburra, CORANTIOQUIA y el municipio de Envigado, con los cuales se busca la comprensión de la metodología empleada para el análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburra.

Los libros 2 y 3 del convenio entre CORANTIOQUIA-UNAL n° 4800002397 de 2007 tratan sobre la zonificación de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo a los fenómenos: movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburra, para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa se modeló este fenómeno con la herramienta computacional redes neuronales artificiales (ARN) empleando los factores predisponentes la geología superficial, curvatura del terreno, geomorfología, usos del suelo o topografía del Valle Aburra considerando como detonante la lluvia y así determinar la probabilidad de ocurrencia.

La amenaza por avenidas torrenciales e inundaciones rápidas se analizaron en conjunto debido a su mutua característica de ocurrencia súbita, inesperada y por su elevado poder destructivo, se identificaron las cuencas o microcuencas que por su forma, tamaño, pendiente y disponibilidad del material se considera torrencial, de acuerdo al inventario de eventos pasados y sus relatos se identifican los factores geológicos, geomorfológicos, usos del suelo, condiciones climáticas e hidrológicas e intervenciones hidráulicas que influyen en la ocurrencia de flujos torrenciales, considerando como factor detonante la lluvia y así determinar la velocidad, poder destructivo y magnitud del flujo torrencial según la extensión del valle.

Se recomienda para profundizar en el análisis de los microclimas y para cada cuenca hídrica el tipo y forma de pendiente (cóncava o convexa), la presencia de saprofitos arenosos, análisis local de lluvia, variabilidad de temperatura, altura, intensidad, dirección del viento, evidencias geomorfológicas y estratigráficas de anteriores eventos, para delimitar las zonas más expuestas a estos eventos.



Se usó el programa de modelamiento hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) para analizar las manchas de inundación basándose en datos hidrometeorológicos y así estimar los periodos de retorno, la frecuencia y la magnitud, con los rasgos geomorfológicos de anteriores eventos, las zonas de retiro y el tipo de corriente se establecieron los niveles de amenaza.

El análisis geomorfológico, topográfico, geológico e hidrológico permitieron la construcción de los mapas de inundación y avenidas torrenciales, se identificaron las zonas donde son acumuladas grandes cantidades de agua y donde se pueden presentar avenidas torrenciales, según la interrelación de la dinámica geomorfológica y la hidrología, se pueden definir las áreas de amenaza alta a eventos extremos según los siguientes criterios:

- Las zonas de montaña tienen amenaza alta por avenidas torrenciales dependiendo la pendiente longitud de la cuenca, el material disponible y el grado de encajonamiento de la corriente.
- En la zona de transición hay mayor peligro, debido a que las zonas inundables son más extensas y la dinámica de una avenida torrencial tendría mayor poder destructivo, se presentan variaciones en la pendiente, la disminución de la velocidad en la llanura aluvial, aumento en la altura y mayor capacidad de carga que llega adquirir el flujo durante el descenso.

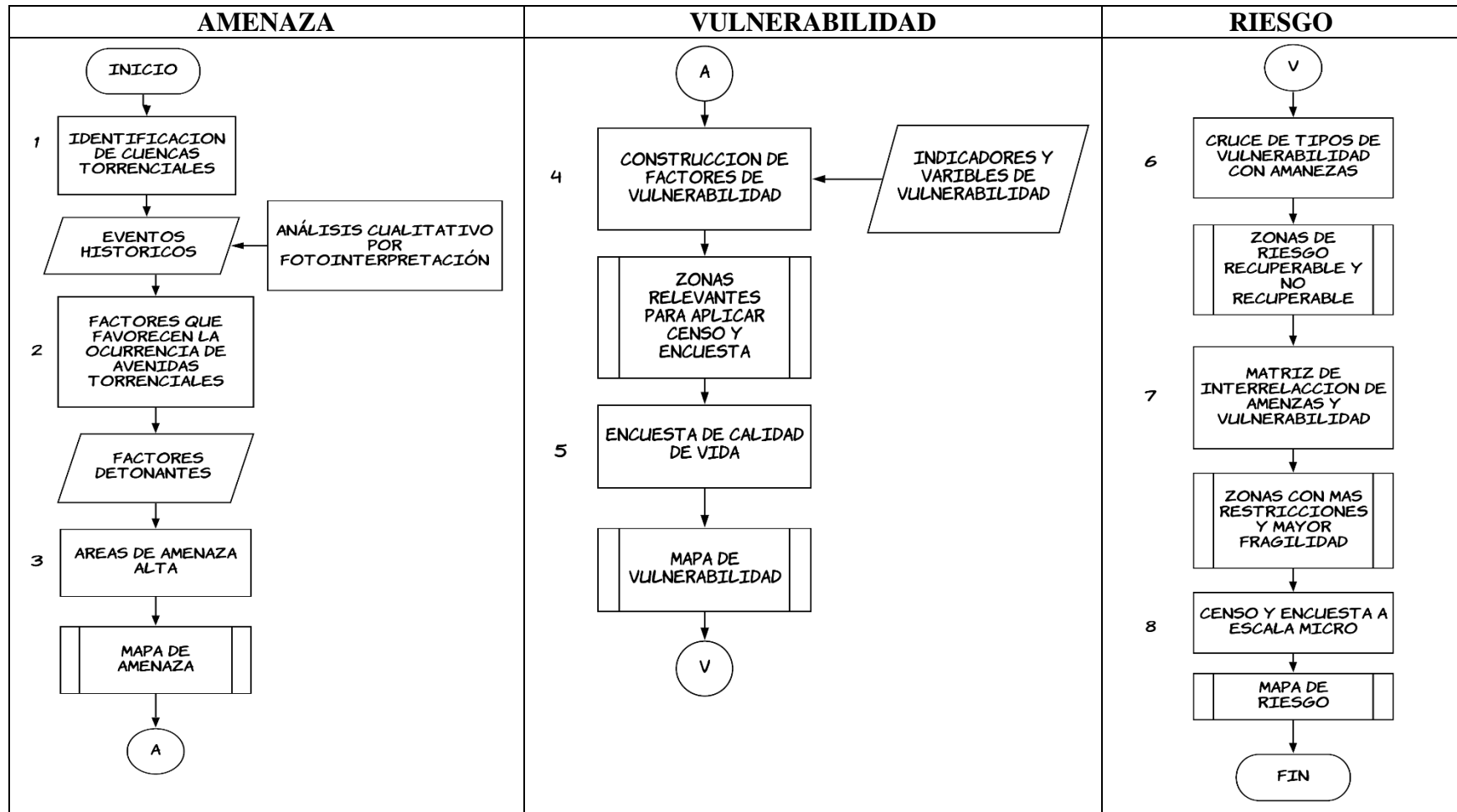
Se caracterizó la vulnerabilidad contemplando cinco dimensiones: social, físico espacial, económica, cultural e institucional a escala micro, meso y macro, se asumió la directa relación de los problemas de desarrollo y la vulnerabilidad considerando la exposición, la fragilidad social y la falta de resiliencia o capacidad de respuesta como factores determinantes.

Se determinaron para cada dimensión indicadores y variables según la escala, luego apoyados en literatura se construyeron los factores de vulnerabilidad, para luego formular preguntas para la recolección de la información a escala micro aplicando la encuesta de calidad de vida del año 2007 en las zonas de mayor riesgo, con base a los resultados se obtuvo el mapa de vulnerabilidad, finalmente se cruzó con el mapa de amenazas para

definir las zonas con mayor amenaza y vulnerabilidad en las que se realizó censo y encuestas que permitieron definir el riesgo y la construcción del mapa de riesgos.

A continuación, en la Tabla 15 se pueden observar los procesos desarrollados para el estudio de avenidas torrenciales en el valle de aburra.

Tabla 15 Avenidas torrenciales en el Valle de Aburra



Fuente: Adaptado de (UNAL-CORANTIOQUIA, 2009) por Valderrama, M

De acuerdo con las anteriores metodologías, se evidencia un patrón de análisis con la identificación de características geológicas, geomorfológicas y morfológicas de las zonas de estudios, la diferencia se evidencia en el requerimiento de división del terreno en celdas y la asignación de los atributos, categorías y proceso para determinar el porcentaje de probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales.

#### 6.5. Estudio de riesgo: Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales, municipio de San Rafael, Antioquia, 2012

Este estudio reconoce la influencia del cambio climático extremo, las variaciones en las condiciones atmosféricas con factores influyentes en la ocurrencia de efectos que afectan los cauces y colocan en peligro a las comunidades, los bienes y la naturaleza, afectando significativamente la calidad de vida de la población. Con el resultado de este análisis las entidades gubernamentales buscan generar herramientas de gestión que permitan la organización y ocupación del territorio acorde con la realidad ambiental y específica de la zona. De acuerdo con lo anterior se realizó un proceso en pro del reconocimiento de la zona objeto de estudio, para la comprensión y análisis de las diferentes dinámicas que se presentan o pueden presentarse en los diferentes cuerpos hídricos.

Los cuerpos hídricos torrenciales se identifican de acuerdo con las 11 características definidas. (CORNARE, 2012). Con la información recolectada fue posible determinar el rango de los intervalos para la ponderación de los factores involucrados en la clasificación morfométrica en cada cuenca hidrográfica con características torrenciales identificadas en el SIG. En la Tabla 16 se muestra los rangos de ponderación morfométrica:

*Tabla 16 Clasificación morfométrica - cuencas torrenciales.*

	Densidad de drenaje DD	Coefficiente de compacidad	Pendiente media de la cuenca PM		Clasificación morfométrica
Muy bajo	0,976 – 1,304	1.290 – 1.361	1	<5	
Baja	1,305 – 1,544	1.361 – 1467	2	5 – 12	
Media	1,545 – 2,104	1.468 – 1846	6	12 – 35	
Alta	2,105 – 2,430	1.847 – 2.390	8	35 – 75	
Muy alta	2,431 – 3,059	2.391 – 2.525	10	>75	

	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>
--	------------	------------	------------	-------------

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

Se identificaron las unidades geomorfológicas que alimentan el mapa de susceptibilidad, las cuales se ponderaron y se les otorgo una escala de color como se observa en la Tabla 17.

*Tabla 17 Reclasificación de unidades geomorfológicas.*

<b>Macro unidad</b>	<b>Valor clasificación</b>
Superficie Aluvial del Rio Magdalena	1
Superficie de Deposición Meza	1
Superficies de Erosión	2
Escarpes	5
Frente Erosivo del Cauca – Ama	5
Frente Erosivo del Magdalena	5
Cañón del Rio Medellín – Porce	5
Cañón del Rio Nus	5

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

Los mapas temáticos como los establece el IGAC tienen un propósito específico, en este estudio es la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales. Por lo anterior los mapas temáticos utilizados fueron: precipitación, coberturas y materiales superficiales se analizaron de la misma forma para movimientos en masa, pero en este caso aplicados a las cuencas hídricas con características torrenciales e incluyendo el mapa de relieve regional.

Como se muestra en la Tabla 18, los mapas temáticos utilizados alimentan diferentes datos.

*Tabla 18 Lista de mapas temáticos.*

<b>Mapa temático</b>	<b>Representa</b>
Pendientes	Distribución espacial en área del municipio de la inclinación del terreno.
Precipitación	Distribución espacial en el área del municipio de la precipitación
Materiales superficiales	La distribución espacial de los diferentes materiales derivados de acumulaciones o transformaciones de materiales existentes en superficies.
Cobertura superficial	La distribución espacial de las áreas destinadas a los diferentes usos, discriminando los tipos de uso agrícola.

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

De acuerdo con los mapas temáticos aplicados en el Valle de Aburra, en la Tabla 19 se observa el valor de ponderación aplicado a la variable de precipitación, en el caso de coberturas y materiales superficiales la ponderación de observan en Tabla 20 y Tabla 21 respectivamente. Los valores asignados para la clasificación de cada uno de los factores de susceptibilidad son adimensionales.

*Tabla 19 Clasificación de precipitación.*

<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Valor</b>
1084 – 2008	6
2008 – 2673	7
2671 – 3511	8
3511 – 4027	9
4027 – 4801	10

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

*Tabla 20 Clasificación de coberturas.*

<b>Cobertura superficial</b>	<b>Valor</b>
Suelo desnudo	10
Pastos	8
Cultivos anuales o transitorio	7
Bosque plantado	5
Cultivo permanente	4
Áreas construidas	3
Pastos no agrícolas (Instalaciones recreativa)	3
Arbustos, matorrales rastrojos	2
Bosques	1
Cuerpos de agua, corrientes y ciénagas	1

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

*Tabla 21 Clasificación de materiales superficiales.*

<b>Materiales en superficie</b>	<b>Valor</b>
Depósito de vertiente	10
Saprolito roca metamórfica foliada	8
Saprolito roca metamórfica no foliada	7
Saprolito roca ígnea	6
Saprolito roca sedimentaria	5

Depósito aluvial	4
------------------	---

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

Finalmente, para determinar la amenaza por avenidas torrenciales de acuerdo con los resultados obtenidos en la clasificación de la precipitación, pendientes, cobertura y materiales superficiales del Valle de Aburra, se calcula el valor porcentual para cada factor de susceptibilidad por avenidas torrenciales como se observa en la Tabla 22.

*Tabla 22 Ponderación factores de susceptibilidad por avenidas torrenciales.*

<b>Factor</b>	<b>%</b>
Clasificación morfométrica	30
Geomorfología	20
Precipitación	20
Materiales superficiales	15
Cobertura superficial	15
Amenaza por torrencialidad	100

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

En cada cuenca hídrica se asumió la ponderación para todo el cauce y clasificar los resultados, de acuerdo al cálculo porcentual, se obtuvo la amenaza por torrencialidad, con estos resultados se determinó el índice de amenaza por avenidas torrenciales de acuerdo con los rangos observados en la Tabla 23, con respecto a la clasificación colorimétrica se representó el SIG del municipio de estudio.

*Tabla 23 Índice de amenaza por avenida torrencial.*

<b>Calificación</b>	<b>Intervalo</b>
<b>Muy bajo</b>	4,99 – 6,50
<b>Baja</b>	6,50 – 7,45
<b>Media</b>	7,45 – 9,24
<b>Alta</b>	9,24 – 12
<b>Muy alta</b>	12 – 14,40

**Fuente:** (CORNARE, 2012)

Los procesos en que se aplicaron cada uno de los datos, variables y factores durante el análisis en al municipio de San Rafael, se muestran en la figura 13.

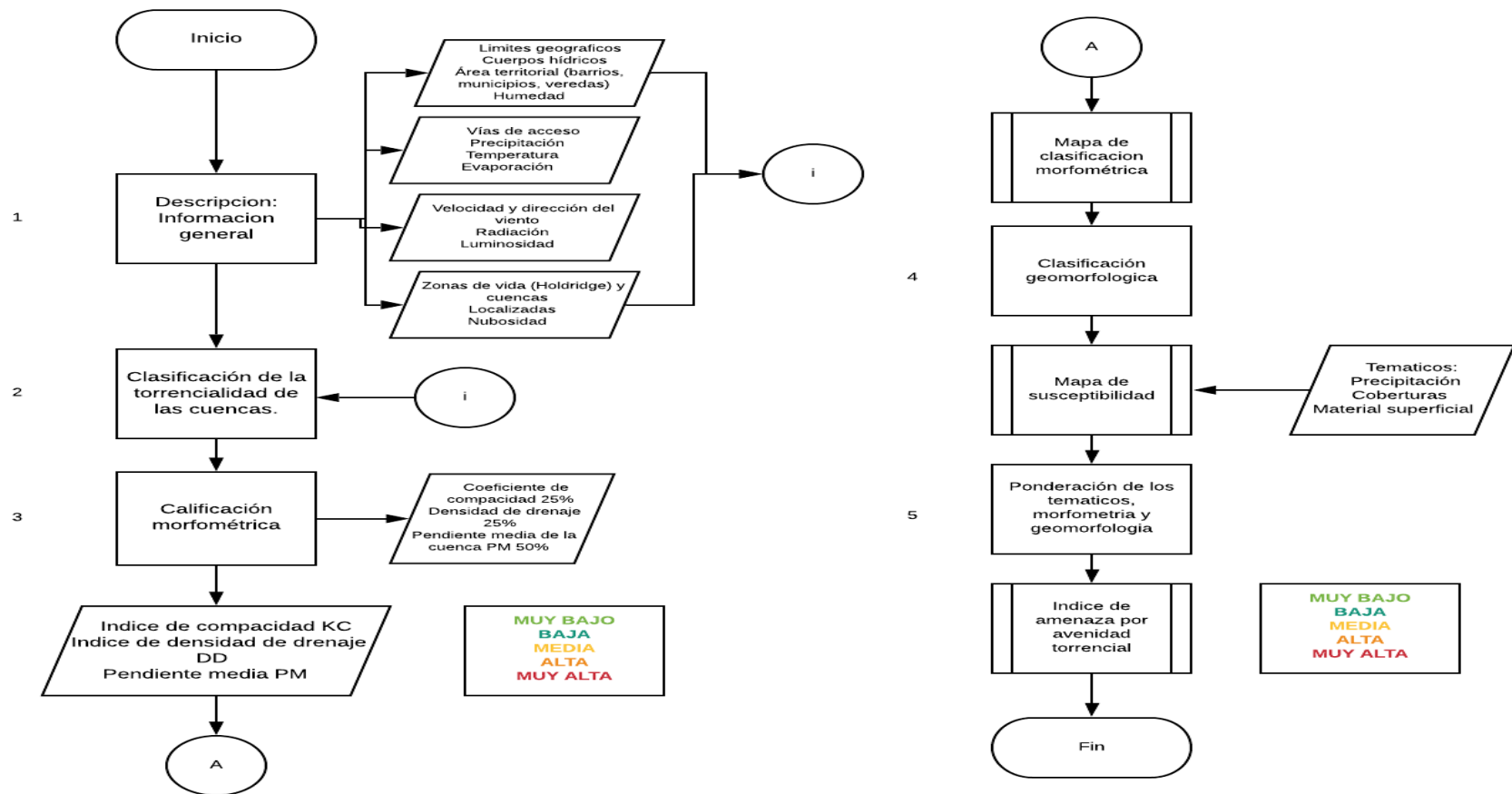


Figura 13 Avenidas torrenciales municipio de San Rafael, Antioquia

Fuente: Adaptado de (CORNARE, 2012) por Valderrama, M.



## 6.6. Artículo científico: Estudio de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la Quebrada Doña María, 2009

En este estudio se empleó el método presentado por Ordoñez y Martínez en el análisis de riesgos naturales y problemática ambiental, con técnicas de análisis multivariado empleando el software *IDRISI Kilimanjaro*, con este programa se puede superponer varias capas temáticas y así obtener resultados desde diferentes condiciones (escenarios), de acuerdo a datos aportados para cada variable con la función comparación por partes y determinar cuáles son las variables con mayor peso en el momento de la ocurrencia de una avenida torrencial. En la Tabla 24 se muestra la escala de valoración de los pesos relativos.

*Tabla 24 Escala de valoración de pesos relativos.*

Valoración de pesos relativos	
Valoración	Significado
1/4	El factor fila es moderadamente menos importante que el factor de la respectiva columna.
1/6	El factor fila es moderadamente menos importante que el factor de la respectiva columna.
1/9	El factor fila es extremadamente menos importante que el factor de la respectiva columna.
1	Igual importancia del factor de la fila y de la columna
4	El factor fila es moderadamente más importante que el factor de la respectiva columna
6	El factor fila es fuertemente más importante que el factor de la respectiva columna
9	El factor fila es extremadamente más importante que el factor de la respectiva columna

Fuente: (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009)

La pendiente, la red de drenaje, las microcuencas, la geología, la geomorfología y distancia a los cauces son los mapas temáticos considerados en el programa de modelación, los cuales previamente se normalizaron a una escala en común entre 0 a 1, donde el valor de cero (0) representa la variable que no favorece la ocurrencia de la avenida torrencial y el valor de uno (1) se asigna aquellas variables que contribuyen en un grado alto de amenaza.

Conocer las diferentes elevaciones en el relieve y las pendientes de la cuenca de estudio fue posible a las capas geológicas y de cobertura obtenidas a través del modelo digital de elevación

(MDE), el cual permite extrapolar o interpolar las curvas de nivel, asigna a cada píxel un valor sobre la altura de la zona. El tamaño de cada píxel manejado en este estudio fue de 10x10 metros.

El parámetro de la red de drenaje se obtiene empleando la opción *FLOW* del software del MDE, el cual, dentro de su análisis y ruta de cálculo, permite la acumulación de las celdas a medida que el cauce se dirige hacia su desembocadura. La herramienta realiza una asignación o calificación superior a los puntos con más acumulación.

Para el mapa temático de microcuencas se aplica el índice Melton para aquellas que conforman la cuenca de estudio, definiendo la torrencialidad de cada una y permitiendo su clasificación. Como este índice no fue diseñado para cuencas en zonas ecuatoriales, se utilizó la ecuación.

$$\text{Índice de Melton} = (H_{\max} - H_{\min}) * S^{-0.5}$$

Donde:

$H_{\max}$  = cota de altura máxima

$H_{\min}$  = cota de altura mínima

$S$  = área de la micro cuenca expresada de  $Km^2$

Cuando el resultado del índice de Melton es superior a 0,5 se asume que es una microcuenca torrencial.

Se comparó la torrencialidad de las microcuencas aplicando la ecuación:

$$\text{Comparación de torrencialidad} = \frac{(IM_i - M_{\min})}{(M_{\max} - M_{\min})}$$

Donde:

$IM_i$  = índice de Melton de la microcuenca.

$IM_{\min}$  = Valor mínimo del índice de Merton de todas las microcuencas.

$IM_{\max}$  = Valor Máximo del índice de Melton de todas las microcuencas.

Se dio mayor importancia a los valores más altos según el índice de Melton al momento de ejecutar el modelo.

- Zonas con pendiente superior al 70% tiene una probabilidad de ocurrencia nula
- Para los mapas temáticos de geología, geomorfología e índice de melton de las microcuencas, no se aplicó ninguna función matemáticas para la normalización por los pocos de datos con los que se contaba y se calificaron según la escala 0-1 según el criterio de expertos.
- Se aplicó la siguiente expresión para determinar el índice de amenaza según la ponderación de cada parámetro.

$$M = \sum P_i * X_i$$

Donde:

*M = indice de amenaza*

*P<sub>i</sub> = pesos asignados a cada factor*

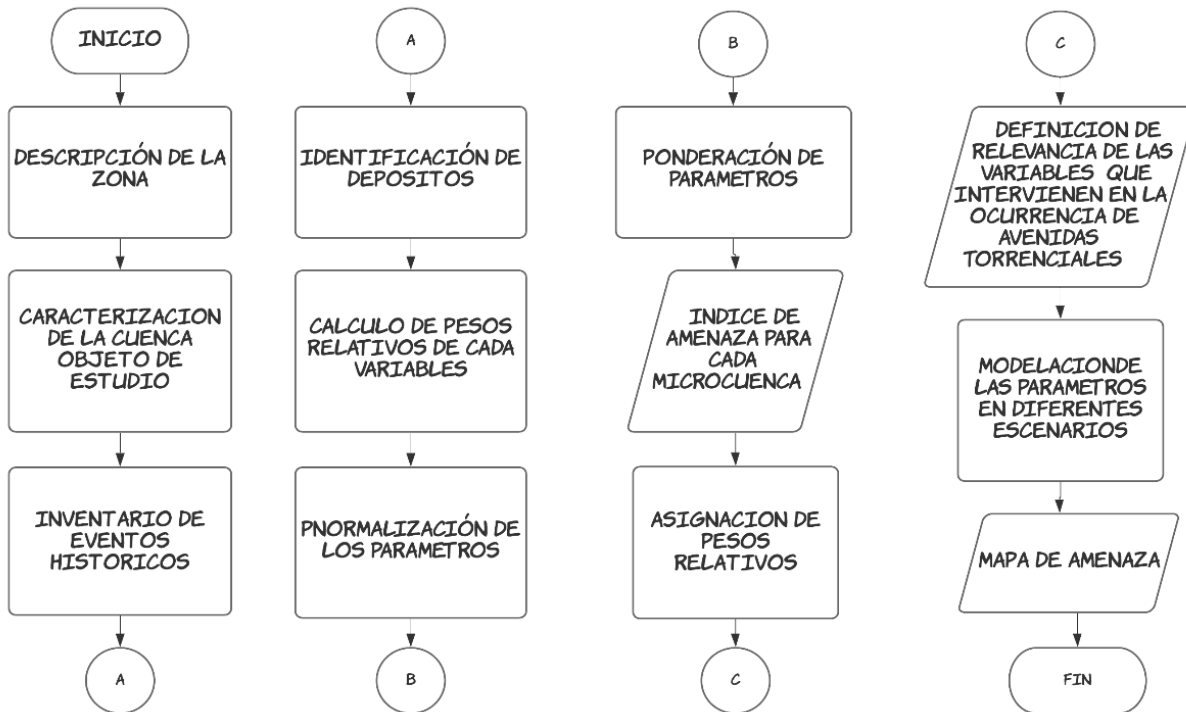
*X = Factores*

Luego se ingresaron los diferentes mapas temáticos y automáticamente el programa de software IDRISI Kilimanjaro realiza el álgebra de mapas.

Para la caracterización de la cuenca objeto de estudio debe reunirse la información de las siguientes variables:

- Área ( $Km^2$ )
- Orden de Horton – Strahler.
- Longitud total de canales ( $Km$ )
- Longitud de canal principal ( $Km$ )
- Cota máxima de la cuenca ( $m$ )
- Cota en la salida de la cuenca ( $m$ )
- Distancia al centroidada( $Km$ )
- Perímetro ( $Km$ )
- Pendiente media (%)
- Pendiente promedio del canal principal (%)

En la Figura 14 se puede evidenciar el conjunto de procesos y productos ejecutados y obtenidos respectivamente durante la aplicación de metodologías cualitativas para el análisis de la quebrada Doña María.



*Figura 14 Evaluación cualitativa Quebrada Doña María*

Fuente: Adaptado de (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009) por Valderrama, M.

## **7. Comparación de metodologías aplicadas en Colombia**

Se observa que todos los estudios realizan análisis de eventos históricos y calculan parámetros morfológicos para determinar la susceptibilidad de las cuencas. La susceptibilidad se calcula de forma muy similar únicamente teniendo en cuenta aspectos geomorfológicos de la cuenca, sin incluir aspectos climáticos, como precipitación o coberturas vegetales (a excepción del estudio del municipio de San Rafael). En cuanto al análisis de la amenaza, únicamente 2 estudios utilizan modelaciones hidrológicas e hidráulicas para determinar caudales, áreas, profundidades y velocidades de flujo, sin embargo, ninguna de estas tiene en cuenta que las avenidas torrenciales pueden comportarse como fluidos no newtonianos, sino que son modelados como agua.

El análisis de vulnerabilidad es escaso en la mayoría de los estudios analizados y cuando se realiza se tienen en cuenta variables cualitativas. Únicamente algunos POMCA y el estudio del Valle de Aburrá llega a realizar análisis de riesgo, los demás llegan a análisis de amenaza.

Se puede afirmar que el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCAS cuenta con la mayor información para determinar y definir las categorías de amenaza, sin embargo, no es muy amplio su estudio y va sujeto a otras amenazas, tienen en cuenta el caudal dentro del índice IVET, pero no en caso de escorrentía intensas y frecuentes ocasionadas por el cambio climático que son impredecibles. En la Tabla 25, se puede observar el análisis de similitudes y diferencias entre las metodologías objeto de estudio en este trabajo.

Tabla 25 Comparación de metodologías aplicadas en Colombia.

Proceso	POMCAS	POMCA de Bogotá	Avenidas torrenciales en perspectiva de cambio climático Bogotá, 2017	Avenidas torrenciales en el Valle de Aburra, 2009	Avenidas torrenciales, municipio de San Rafael, Antioquia, 2012	Evaluación de zonas de amenaza metodologías cualitativas Q. Doña María, 2009
Análisis de susceptibilidad	- Análisis de eventos históricos. - Caracterización morfométrica					
	- Imágenes satelitales - Índice morfométrico de torrencialidad IVET		- Inventario de procesos morfodinámicos	- Fotointerpretación de imágenes satelitales para determinar eventos históricos - Identificación de factores detonantes - Identifica factores que favorecen la torrencialidad (morfométricos)	- Ponderación de variables morfológicas y geomorfológicas	- Identificación de depósitos de avenidas torrenciales ocurridas en el pasado.  - Determina pesos relativos de las variables geológicas y geomorfológicas
Análisis de la amenaza	- Cruce de mapas de susceptibilidad con zonas activas por remoción en masa. - Cruce de mapas de susceptibilidad con eventos históricos	- Modelación hidrológica e hidráulica (similar a inundaciones)	- Análisis hidrológico - Análisis de sedimentos y cálculo de concentración de sedimentos - Análisis hidráulico	- Cruza los factores detonantes con los factores que favorecen la torrencialidad		- Utiliza metodología de determinación de susceptibilidad a movimientos en masa
Análisis de vulnerabilidad	Por medio de cartografía base, información socioeconómica se evalúan: - el índice de Exposición (IP) - índice de Fragilidad (IF) - índice de Resiliencia (IR) Determinando el índice de Vulnerabilidad (IV).		- No evalúa vulnerabilidad	- Análisis cualitativo mediante aplicación de encuestas de calidad de vida. - Evalúa 5 dimensiones de vulnerabilidad enfocado a la población - Se obtienen 12 rangos de vulnerabilidad	- No evalúa vulnerabilidad	- No evalúa vulnerabilidad
Análisis de riesgo	- Cualitativo (Mapa de riesgo con clasificación alta, media o baja)	- Cuantitativo (Determina profundidades de flujo y velocidades)	- No evalúa el riesgo	- Cruza vulnerabilidad con amenaza y determina zonas de riesgo recuperable y no recuperable	- No evalúa el riesgo	evalúa el riesgo

Fuente: autores

## **8. Conclusiones**

Dentro la investigación realizada se logró examinar diferentes metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia, donde fue posible determinar que:

Se encuentran muy pocos estudios sobre la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales, dentro de los 21 estudios de POMCAS revisados, se detalló que algunos están desactualizados y los demás se rigen bajo el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCAS, Clasificando el análisis de riesgo de forma Cualitativo, con diferencia del POMCA de río Bogotá, que emplea una metodología que utiliza un análisis geomorfológico con Modelación hidrológica e hidráulica (similar a inundaciones) para identificar las unidades relacionadas con eventos torrenciales como resultado un análisis cuantitativo. Además, se revisaron 13 estudios de riesgo, 7 artículos científicos y una tesis de maestría donde de estos se detalló la metodología de 3 estudios de riesgo y 1 artículo científico con el fin de conocer las investigaciones para la determinación del riesgo ante eventos de avenida torrencial.

En relación con los diferentes estudios se realiza un cuadro comparativo confrontando las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales, en donde se identifican que todas tiene en cuenta la geomorfología de la cuenca sin embargo no profundizan en la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo solo se centran en la susceptibilidad, por otro lado las características morfométricas más relevantes para estimar este fenómeno son: Geomorfología, densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de compacidad o de forma.

Finalmente, con base a la comparación de los resultados descritos se evidencia que no se cuenta con lineamientos claros, falta estudios que detallen el cambio climático ya que, debido a este en los últimos años las lluvias son más intensas, frecuentes e impredecibles, no contemplan cálculos de velocidad o la cantidad de agua que puede transportar una cuenca.

## 9. Recomendaciones

- El poder destructivo de las avenidas torrenciales es muy alto y los daños que han provocado en nuestro país ha sido muy grandes, de acuerdo con los manifestado en los diferentes documentos objeto de estudio en esta monografía, por lo que se recomienda acelerar la divulgación a todas aquellas comunidad y asentamientos cercanos a cuencas hidrográficas de alta montaña, acerca del posible riesgo que pueden tener por estos eventos, de tal forma que se establezcan programas de evacuación y prevención adecuados. Es indispensable para mitigar las perdidas establecer programas de concientización de la importancia de interactuar adecuadamente con los alrededores de las redes hidrográficas para no contribuir en el aumento de la amenaza.
- Incentivar y apoyar proyectos para la identificación y caracterización de cauces torrenciales es una intervención sostenible y rentable para el ordenamiento adecuado de cada territorio en el país y así implementar los controles pertinentes para la localización temprano de la manifestación de detonantes o reconocimiento de la sinergia con los factores influyentes en la ocurrencia de avenidas torrenciales.
- La recolección de información técnica permitirá nutrir oportunamente aquellos proyectos, programas o cualquier instrumento que sea puesto en marcha para la regulación del desarrollo de infraestructura sostenible acorde al crecimiento demográfico exponencial al que se enfrenta el país.
- Se estima que lugares donde han ocurrido anteriormente avenidas torrenciales existe una mayor probabilidad a una nueva ocurrencia, por lo tanto, se recomienda realizar análisis cualitativo, determinando periodos de ocurrencia y delimitar las zonas antes afectas por los eventos históricos que sean posible de reconstruir.
- Los cauces de alta montaña están en constantes cambios por las diferentes interacciones, lo que en cualquier momento puede alterar las características de la cuenca hídricas aumentando el riesgo a la ocurrencia de una avenida torrencial, por lo tanto se recomienda establecer programas y sistemas de monitoreo constante que permita una reacción oportuna.



## 10. Bibliografía

- Araque, E. (2019). Refundición de dominios y repoblación forestal en la porción andaluza de la cuenca del río Guadalentín. 48, 9 - 37. Investigaciones geograficas.
- Arroyo, M., Jiménez, S., Meléndez, J., & Ramírez, T. y. (Feria XXI). Los fluidos no Newtonianos. XXI Concurso Universitario Feria de las Ciencias, la tecnología y la innovacion. Obtenido de [https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria387\\_01\\_los\\_fluidos\\_no\\_newtonianos.pdf](https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria387_01_los_fluidos_no_newtonianos.pdf)
- Barrios, M., & Olaya, E. (2007). Calculo y análisis de hidrogramas para el flujo torrencial del 22 de Junio de 2006 ocurrido en lamicrocuenca "El Salto", Ibagué -Colombia. *Avances en recursos hidráulicos* , 31 - 40.
- Barrios, M., & Olaya, E. (2007). *Universidad del Tolima*. Obtenido de Evaluación integral del riesgo por avenidas torrenciales caso Villa Restrepo, Ibagué- Tolima: [https://www.researchgate.net/publication/314282002\\_Evaluacion\\_integral\\_del\\_riesgo\\_por\\_avenidas\\_torrenciales\\_caso\\_villa\\_Restrepo\\_Ibague-Tolima](https://www.researchgate.net/publication/314282002_Evaluacion_integral_del_riesgo_por_avenidas_torrenciales_caso_villa_Restrepo_Ibague-Tolima)
- Caballero, J. (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de aburra . *Gestión y Ambiente*, 45-50.
- Cañas et al. (s.f.). Evaluación de la Vulnerabilidad Fisica ante avenidas torrenciales. *Semillero de imbestigación en Ciencias Ambientales I. U. Colegio mayor de Antioquia*.
- CAR. (2015). *POMCA Río Carare Minero*. Obtenido de Fase diagnóstico. Capitulo IV: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ca216323cfdd.pdf>
- CAR. (2017). *POMCA Río Alto Suárez*. Obtenido de Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del rio alto suarez. Tomo IV - Fase de Formulación: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b9a94fe1389d.pdf>
- CAR. (2017). *POMCA Rio Bogotá*. Obtenido de Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá: <http://www.car.gov.co/vercontenido/94>
- CAR. (2018). *POMCA río Guayuriba*. Obtenido de [ftp://rioguayuriba%7Canonymous@200.21.21.36/Anexo\\_5\\_1\\_Tomo\\_3\\_Fase\\_Diagnostico/](ftp://rioguayuriba%7Canonymous@200.21.21.36/Anexo_5_1_Tomo_3_Fase_Diagnostico/)
- CAR. (s.f.). *Actualización del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río medio y bajo Suárez (2401-02)* . Obtenido de Fase diagnóstico Tomo IV: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bbe1ff2f0991.pdf>
- CAR. (s.f). *POMCA Río Seco y otros directos al Magdalena*. Obtenido de Actualización y Ajuste: [https://drive.google.com/drive/folders/1Pc8NTF\\_p7mTGnfD-hLbn8X60BCoC0Jvx](https://drive.google.com/drive/folders/1Pc8NTF_p7mTGnfD-hLbn8X60BCoC0Jvx)

- Cardona, B. (s.f.). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de epositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20básicos%20de%20Morfometría%20de%20Cuencas%20Hidrográficas.pdf
- CIMPP. (s.f.). *Centro de información Municipal para la Planeación participativa*. Obtenido de 5.2 Amenaza por avenidas torrenciales en zona urbana.: <http://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2017/10/CAPITULO-5.2-AMENAZA-POR-AVENIDAS-TORRENCIALES-URBANO.pdf>
- Codorníu, R. (1897). *La Sierra de Espuña y su repoblación forestal*. Revista de Montes.
- Corantioquia . (2016). *POMCA Río de aburra*. Obtenido de 2.7. Caracterización de las condiciones de riesgo: [http://www.cornare.gov.co/documentos/POMCA\\_ABURRA.pdf](http://www.cornare.gov.co/documentos/POMCA_ABURRA.pdf)
- Corantioquia. (s.f.). *POMCA Río Tillavá*. Obtenido de Vol. 4. caracterización de las condiciones del riesgo: <http://www.corantioquia.gov.co>
- Corantioquia- Universidad EAFIT. (2015). *Aunar esfuerzos para realizar los estudios basicos para la delimitación de áreas con condición de amenaza y riesgo a partir de investigación aplicasa en once municipios de la jurisdiccion de corantioquia*. Obtenido de [http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR\\_CV\\_1505\\_69\\_2015.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR_CV_1505_69_2015.pdf)
- Cormacarena. (2013). *POMCA Río Guamal* . Obtenido de [www.cormacarena.gov.co](http://www.cormacarena.gov.co) › descargarpdf
- Cormacarena. (2016). *POMCA Río Medio y bajo Ariari*. Obtenido de capítulo 2. Caracterización de las condiciones de riesgo.
- Cornare - Gobernación de Antioquia. (2012). Obtenido de Evaluación y Zonificación de riesgos por avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa municipio de La Ceja: <http://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/LA-CEJA/INFORME-FINAL-LA-CEJA.pdf>
- Cornare . (2012). *Grupo de gestión de riesgo* . Obtenido de zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. atención de áreas afectadas por eventos desastrosos: <http://cornare.gov.co/GestionRiesgo/SAN-RAFAEL/Informe-San-Rafael.pdf>
- CORNARE. (2012). Zonificacion de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Municipio de San Rafael, Antioquia, Colombia.
- Corpamag. (s.f.). *POMCA Río Piedras, Río Manzanares y otros directos al Caribe*. Obtenido de Fase de diagnóstico, documento general Vol.3 características de las condiciones de riesgo.: [https://www.corpamag.gov.co/archivos/POMCAS/SZH%201501-01-03\\_Caract\\_Cond\\_Riesgo.pdf](https://www.corpamag.gov.co/archivos/POMCAS/SZH%201501-01-03_Caract_Cond_Riesgo.pdf)
- Corpoboyaca. (2017). *POMCA Río Garagoa*. Obtenido de Fase de Diagnóstico 7. Caracterizaciones de las condiciones de riesgo: <http://www.corpochivor.gov.co/entidad-2/planes-y-proyectos/pomca-rio-garagoa/>

- Corpocaldas. (2015). *Pan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Cuenca del Río Guarinó*. Obtenido de [http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic\\_page.aspx?p=1559](http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=1559)
- Corpocaldas. (2016). *POMCA Río Miel*. Obtenido de IV. Características de las condiciones de riesgo: [http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic\\_page.aspx?p=1561](http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=1561)
- CORPOCALDAS. (2017). Lluvias intensas como detonante de deslizamientos y avenidas torrenciales - caso de estudio Manizales y Mocoa, Abril de 2017. Manizales, Mocoa, Colombia.
- Corpocaldas. (2017). *POMCA Río Arma*. Obtenido de Tomo II: [http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic\\_page.aspx?p=1560](http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=1560)
- Corporinoquía. (2019). *Ajuste / actualización POMCA Río Cursiana*. Obtenido de <https://colombialicita.com/?entidadA=578&sort=ucuantia>
- Corponor. (2018). *Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental*. Obtenido de POMCA Río Zulia: [orponor.gov.co/publica\\_recursos/pomca/zulia/POMCH\\_COMPLETO-RIO\\_ZULIA.pdf](http://orponor.gov.co/publica_recursos/pomca/zulia/POMCH_COMPLETO-RIO_ZULIA.pdf)
- Cortés. (2008). *Parámetros de drenaje y morfología del cauce principal*.
- Cortés. (2008). *Parámetros de drenaje y morfología del cauce principal*.
- Cortolima. (2018). *POMCA Río Anamichu*. Obtenido de Cap 21 caracterización de riesgo : [cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/POMCA\\_ANAMICHU/CAPITULO\\_4.\\_FORMULACION/FORMULACION\\_CUENCA\\_RIO\\_ANAMICHU\\_2010.pdf](http://cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/POMCA_ANAMICHU/CAPITULO_4._FORMULACION/FORMULACION_CUENCA_RIO_ANAMICHU_2010.pdf)
- Cortolima. (s.f.). *POMCA Quebrada Las Panelas y La Balsa*. Obtenido de [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/PROSPECTIVA/3.2ZONIFICACION\\_PROBLEMAS\\_CAUSA\\_PROP\\_ESCENARIOS.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/PROSPECTIVA/3.2ZONIFICACION_PROBLEMAS_CAUSA_PROP_ESCENARIOS.pdf)
- CRQ & CVC. (2017). *POMCA del Río la Vieja*. Obtenido de <https://www.crq.gov.co/images/POMCA/PLAN-ORDENACION-Y-MANEJO-RIO-LA-VIEJA.pdf>
- CVC. (2019). *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca POMCA Subzona hidrográfica 2631*. Obtenido de POMCA Subzona hidrográfica 2631 Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras.
- Espindola, V., & Pérez, X. (2018). ¿Qué son los SISMOS, ¿dónde ocurren y cómo se miden? *Ciencia*, Vol. 68 N°3, 10-15.
- Feito, L. (2007). Vulnerabilidad, *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. Scielo. *SciELO*, 7-22.
- Fog, L. (27 de noviembre de 2018). Los Andes colombianos navegan hacia el noreste. Colombia. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/estudio-sobre-los-movimientos-de-colombia-298616>

- García, J. (02 de 2002). *Universidad Nacional de Colombia , Sede medellín*. Obtenido de zonificación de amenazas por movimientos en masa y por avenidas torrenciales para el área rural del municipio de Ituango y zonificación de amenazas y riesgos por movimientos en masa y por inundación para el casco urbano y los corregimientos de Santa Rita :  
[http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR\\_SUELO\\_1708REG\\_2002.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR_SUELO_1708REG_2002.pdf)
- Giral, Y., & Ruiz, Y. (2017). *repositorio.uptc*.
- Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa. (2019). *Grupo Avenidas Torrenciales*. Obtenido de  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/efcfe032a2ca46ada58bf1fa2b44d798>
- Gutiérrez, A. (2015). Zonificación de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, municipio de Belén, Boyacá. *Ingeniería, Investigación y desarrollo ( UPTC)*.
- Hernandez, Y., & Ramirez, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 111- 128.
- Horton, R. (1945). EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS; HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY. 275–370. Obtenido de [ubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075/EROSIONAL-DEVELOPMENT-OF-STREAMS-AND-THEIR?redirectedFrom=fulltext](https://ubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075/EROSIONAL-DEVELOPMENT-OF-STREAMS-AND-THEIR?redirectedFrom=fulltext)
- Hungr et al. (August de 2001). A review or the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, VII, págs. 221-238.
- Ibañez, S. M. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%c3%ada%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. 2013. Bogotá, D. C.* Obtenido de  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022653/DocumentoMARCOCONCEPTUAL.pdf>
- IDIGER. (19 de agosto de 2019). *Caracterización general del Escenario de Riesgo Sísmico*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rsismico>
- Insuasty, J. (2012). Dinámica de flujos de lodos. *Unimar*, 43 - 54.
- Ley 1523 (Diario oficial N° 48.411 de 24 de abril de 2012 24 de abril de 2012).

- Minambiente. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas*. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/PROTOCOLO\\_INCORP.\\_GESTION\\_DEL\\_RIESGO\\_-\\_POMCA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/PROTOCOLO_INCORP._GESTION_DEL_RIESGO_-_POMCA.pdf)
- Minambiente. (2018). *Colombia cuenta con 17 POMCAS aprobados bajo el nuevo marco legal de Planificación de Cuencas*. Obtenido de [www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3512-colombia-cuenta-con-17-pomcas-ap](http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3512-colombia-cuenta-con-17-pomcas-ap)
- Mojica, J., Colmenares, F., Villarroel, C., Macia, C., & Moreno, M. (1985). Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el Valle de Armero (Tolima, Colombia). Historia y comentarios de los flujos de 1595 y 1845. 107-140. Bogotá: Geología Colombiana.
- Montoya, L., Silva, S., & Gonzáles, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 11 - 29.
- Noticias Caracol. (13 de NOVIEMBRE de 2015). *Crónica de una tragedia anunciada: el día que una avalancha sepultó a Armero*. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de noticias.caracol: <https://noticias.caracoltv.com/colombia/cronologia-de-la-tragedia-el-dia-que-una-avalancha-sepulto-armero>
- Ordoñez, J. (2011). *Que es una cuenca hidrológica Cartilla técnica*. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf).
- PNGRD. (2015-2025). *Plan Nacional de gestión del riesgo de desastre*. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD-2015-2025-Version-Preliminar.pdf>
- POMCA Río Aurra. (2015). *corantioquia, Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica*. Obtenido de Caracterización de las condiciones de riesgo.: [http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Tematicas/Agua/POMCA-AURRA/2.7.Caract\\_Gest\\_Riesgos.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Tematicas/Agua/POMCA-AURRA/2.7.Caract_Gest_Riesgos.pdf)
- Rojas, B. (2016). *U. Pontifica Bolivariana convenio 173 de 2016*. Obtenido de Escenario de riesgo Valle de Aburrá por avenidas torrenciales Quebrada La Limona: [http://www.redriesgos.gov.co/wp-content/uploads/2018/04/5.EscenarioMetropolitano\\_LaLimona.pdf](http://www.redriesgos.gov.co/wp-content/uploads/2018/04/5.EscenarioMetropolitano_LaLimona.pdf)
- Rojo, J. (s.f.). *Mormometria en cuencas*. Obtenido de <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Semana. (2018). *"En Mocoa murieron más personas de las que reporta el Gobierno": sobreviviente*. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/articulo/cuantas-personas-murieron-en-la-avalancha-de-mocoa-putumayo/562043>

- SGC. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Sierra, E. (2018). Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para las quebradas el Chulo y el Tablón en la zona urbana del municipio de Gachetá Cundinamarca. *Espacio Vol 39*, 13.
- SNGRD . (2017). *Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastre y Fenómenos Amenazante*. Bogotá, Colombia.: ISBNB Digital: 978 – 958 – 56017 – 4 – 1. Obtenido de Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastre y Fenómenos Amenazantes. ISBNB Digital: 978 – 958 – 56017 – 4 – 1, Bogotá, Colombia.
- Soto, R. &. (2009). Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes, Mérida,. *Revista Forestal Venezolana, Año XLIII*, 33-40.
- Suarez, J. (2001). *Capítulo 5: Flujos y avalanchas*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Tauramena- Casanare. (13 de 10 de 2014). Obtenido de Estudios básicos de inundación y avenidas torrenciales, como complemento al plan Municipal de riesgos del Municipio de Tauramena: <http://www.tauramena-casanare.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Estudios%20B%C3%A1sicos%20de%20Inundaci%C3%B3n%20y%20Avenidas%20Torrenciales%20PGR%20Tauramena%20V4.pdf>
- Torres, C., & Salamanca, W. (s.f.). *Universidad Distrital Francisco José de Caldas* . Obtenido de Análisis de la vulnerabilidad por avenidas torrenciales en la Vereda Pekín y el casco urbano del Municipio de Fusagasugá: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5307>
- UDC. (s.f.). *Tema 9.- Geomorfología aplicada*. Obtenido de s.f: [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf)
- UNAL-CORANTIOQUIA. (Julio de 2009). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburra. *Libro II Y III*. Medellín - Enviago, Valle de aburra, Colombia.
- UNGRD. (2019). *Unidad nacional para la gestion del riesgo de desastres-Colombia* . Obtenido de Avenida torrencial Mocoa, Putumayo respuesta y estabilización: [epositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27755](http://epositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27755)
- UNISDR. (05 de 2019). *Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres 2009 para los conceptos de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo*. Obtenido de [www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)
- Vargas, R. e. (10 de 07 de 2017). *AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN PERSPECTIVA DE CAMBIO*. Obtenido de IDIGER. INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO:

[http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO\\_TECNICO\\_DE\\_SOPORTE\\_14-06-19/DT04\\_Anexo09\\_Amenaza\\_por\\_Avenidas\\_Torrenciales\\_enPerspectivaCCZonaRural.pdf](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo09_Amenaza_por_Avenidas_Torrenciales_enPerspectivaCCZonaRural.pdf)

## Resumen Analítico Especializado – RAE

1. Información general	
<b>Título</b>	Análisis de metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia.
<b>Autores</b>	Elizabeth Vera Camacho Maira Lizeth Valderrama Corredor
<b>Tipo de documento</b>	Monografía
<b>Año</b>	2020
<b>Palabras Claves</b>	Avenidas torrenciales, mecanismos detonantes, geomorfología, concentración de sedimento
2. Resumen	

La intención de esta monografía es analizar las metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia. En primer lugar, se presentan las diferentes definiciones de avenida torrencial, así como la denominación con la cual se conocen en diferentes países, se describen los mecanismos detonantes y como se manifiestan el comportamiento de este fenómeno de acuerdo con los tipos de flujos y las características morfológicas, geológicas y geomorfológicas relevantes de las cuencas.

Por otra parte, se investigaron varios estudios y documentos aplicados en diferentes municipios y cuencas hidrográficas colombianas, en las cuales se identificaron similitudes y diferencias en las metodologías utilizadas para la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad, susceptibilidad y riesgo ante avenidas torrenciales, con los cuales se desarrollaron diagramas en los cuales se presentan los diferentes pasos a seguir en cada una de las metodologías revisadas. Esta investigación contribuirá en la construcción de una guía metodológica que permita identificar las cuencas hidrográficas más susceptibles y con mayor amenaza por este fenómeno.

## 3. Descripción del problema de investigación

Según INGEOMINAS “Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia”. Los flujos de detritos conocidos comúnmente como “avalanchas” son de gran potencial destructivo, su naturaleza es casi impredecible por la rapidez con la que ocurren lo que implica un gran inconveniente para predecirlas y prevenir los daños que estas puedan ocasionar.

La inestabilidad del suelo de las montañas y la sinergia producida entre la erosión o la deforestación y alto relieve de los piedemontes colombianos, aumentan la



susceptibilidad y amenaza ante este fenómeno, sumado la vulnerabilidad de las poblaciones que se asientan en abanicos aluviales y rondas de los ríos. Por lo cual, la principal herramienta para mitigar las pérdidas es evaluar e identificar las zonas que se encuentran en riesgo, sin embargo, en Colombia no existe una metodología clara que permita realizar esta evaluación.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo General

- Analizar las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia.

### 4.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características morfométricas más relevantes en la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.
- Identificar las características de las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia.
- Comparar las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas colombianas.

## 5. Metodología

Se recopiló información de fuentes confiables y estudios sobre eventos torrenciales históricos ocurridos en Colombia, para definir concepto de avenidas torrenciales, determinar los detonantes o mecanismos involucrados en la ocurrencia de este fenómeno, tipos y parámetros morfométricos de cuencas hídricas, que permitan la comprensión de esta problemática y la importancia de continuar profundizando en los estudios.

Se dan a conocer a través de diagramas de flujo, las metodologías más relevantes aplicadas en el país, los procesos y actividades llevadas a cabo sobre la evaluación de la amenaza y la susceptibilidad por avenidas torrenciales. Finalmente se realizó un cuadro comparativo, relacionando las similitudes y diferencias entre estas metodologías, que permitan la construcción de instrumentos para la gestión del riesgo de esta amenaza de manera integral y eficiente para la adecuada organización del territorio y oportuna respuesta ante una emergencia.

## 6. Principales referentes teóricos y conceptuales

**Avenidas torrenciales:** Este fenómeno es un flujo que se desplaza a gran velocidad (Hungr, Evans, Bovis, & Hutchinson, 2001) clasificado como amenaza de tipo socio-natural, debido a los mecanismos que pueden estar involucrados en su ocurrencia. (SNGRD, 2017) Considerados movimientos de tipo flujo que ocurren en cuencas hídricas de alta montaña, que pueden ser identificadas de acuerdo con sus características morfométricas y climáticas como el

---

tamaño, su forma, la pendiente, su geomorfología y la intensidad de las lluvias. (SGC, 2017) Dependiendo de la velocidad y la concentración de los sedimentos, los eventos torrenciales se presentan en flujos de tipo hiperconcentrado, lodos o detritos, clasificados como flujos no Newtonianos (Suarez, 2001).

**Parámetros geomorfológicos relevantes:** Es un factor importante para comprender la magnitud que puede desencadenarse durante una avenida torrencial, de igual forma dimensionar el poder destructivo del evento. Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica debido a la presencia de 3 las tres cordilleras, lo cual brinda un amplio territorio de alta montaña con una variedad de estructuras de escurrimiento, donde confluyen diferentes cauces. La forma de la red de drenaje depende de las condiciones del suelo y la superficie de la cuenca. (Ordoñez, 2011)

**Orden de cuenca:** El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Los métodos de de Horton (1945) y el de Strahler (1952), son los más utilizados para comprender e ilustrar las diferentes divisiones de una cuenca e identificar la jerarquía de las corrientes que conforman la cuenca. (Cardona, 2016)

**Patrones de drenaje:** Los patrones de drenaje corresponden a la forma que toma la red de drenaje en respuesta al tipo de material disponible, los controles estructurales de la roca subyacente y las geoformas. Los más comunes son dendrítico, paralelo, enrejado, rectangular, radial, anular, Multicubeta y Contorsionado (Howard, 1967)

**Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)** este índice es utilizado por los POMCAS su objetivo es delimitar áreas que pueden verse afectadas por eventos de origen torrencial, identificando cuencas con alta susceptibilidad categorizando el índice morfométrico de torrencialidad y índice de variabilidad. (IDEAM, 2013)

## 7. Resultados y conclusiones

Se revisaron 22 metodologías de POMCAS, 13 estudios de riesgo, 7 artículos científicos y 1 tesis de maestría de ellos se detalló algunos estudios más relevantes y realizo un cuadro comparativo confrontando las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales, en donde se identifican que todas tienen en cuenta la geomorfología de la cuenca sin embargo no profundizan en la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo solo se centran en la susceptibilidad, por otro lado las características morfométricas más relevantes para estimar este fenómeno son: Geomorfología, densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de compacidad o de forma.

---

---

Finalmente, con base a la comparación de los resultados descritos se evidencia que no se cuenta con lineamientos claros, falta estudios que detallen el cambio climático ya que, debido a este en los últimos años las lluvias son más intensas, frecuentes e impredecibles, no contemplan cálculos de velocidad o la cantidad de agua que puede transportar una cuenca.

## 8. Bibliografía

- CORNARE. (2012). Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Municipio de San Rafael, Antioquia, Colombia.
- IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. 2013. Bogotá, D. C. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022653/DocumentoMARCOCONCEPTUAL.pdf>
- Minambiente (2014). Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/protocolo\\_incorp.\\_gestion\\_del\\_riesgo\\_-\\_POMCA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/protocolo_incorp._gestion_del_riesgo_-_POMCA.pdf)
- Mojica, J., Colmenares, F., Villarroel, C., Macia, C., & Moreno, M. (1985). Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el Valle de Armero (Tolima, Colombia). Historia y comentarios de los flujos de 1595 y 1845. 107-140. Bogotá: Geología Colombiana.
- Montoya, L., Silva, S., & Gonzáles, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 11 - 29.
- Ordoñez, J. (2011). *Que es una cuenca hidrológica Cartilla técnica*. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf).
- SGC. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Suarez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Geotecnología S.A.S. Obtenido de [erosion.com.co](http://erosion.com.co)
- UNAL-CORANTIOQUIA. (Julio de 2009). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburra. *Libro II Y III*. Medellín - Enviago, Valle de Aburra, Colombia.
- Vargas, R. e. (10 de 07 de 2017). Amenaza por avenidas torrenciales en perspectiva de cambio. obtenido de IDIGER. Instituto distrital de gestión de riesgos y cambio climático: [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/pot/4-documento\\_tecnico\\_de\\_soporte\\_14-06-19/DT04\\_Anexo09\\_Amenaza\\_por\\_Avenidas\\_Torrenciales\\_enPerspectivaCCZonaRural.pdf](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/pot/4-documento_tecnico_de_soporte_14-06-19/DT04_Anexo09_Amenaza_por_Avenidas_Torrenciales_enPerspectivaCCZonaRural.pdf)
-